



NORWEGIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL SCIENCE

№52/2020

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 24 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
- Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
- Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
- Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
- Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
- Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
- Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
- Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
- Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
- Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
- Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
- Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
- Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
- Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
- Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
- Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
- Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
- Chan Jiang (Peking University, China) and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>

CONTENT

CHEMICAL SCIENCES

**Ziyaev M., Obidova N., Nabiev U.,
Ashurov J., Khodjaniyazov Kh.**

CRYSTAL STRUCTURE OF DIAQUA-BIS(N-
BENZOYLANTHRANILATO)- ETHYLATO-COPPER(II)3

**Obidova N., Ziyaev M., Ashurov J.,
Khodjaniyazov Kh.**

CYTOTOXICITY OF DICLOFENAC AND
ETHYLENEDIAMINE COMPLEXES WITH Ni^{2+} , Cu^{2+} and
 Zn^{2+} 7

**Havriushenko K., Gladkiy F.,
Baumer V., Mazaieva V.**

CRYSTALLIZATION OF A MIXTURE OF COCOA BUTTER
AND NEW MODIFIED FATS10

MEDICAL SCIENCES

**Vasiltsov V., Galushkin M., Panchenko V.,
Semenov A., Egorov E., Solovov A.**

POWERFUL CO_2 - THE LASER FOR RECEPTION
TERAHERTZ RADIATIONS..... 20

Damchari S., Ishchenko O.

INFLUENCE OF DERMATOVENEREOLOGICAL DISEASES
ON THE REPRODUCTIVE POTENTIAL OF THE
POPULATION 26

Dashinamzhilov Zh.,

Lubsandorzhiyeva P., Banzaraksheev V.

HYPOLIPIDEMIC EFFECT OF DRY CENTAFIT EXTRACT
IN ADRENALINE DISLIPOPROTEIDEMIA 30

Slavinska V.

ANALYSIS OF THE EXPRESSION OF ANTIMICROBIAL
PEPTIDES OF SALIVA IN CHILDREN WITH DISEASES OF
THE ORAL MUCOSA ASSOCIATED WITH ATOPIC
DERMATITIS.....32

Shevchenko O., Sych V.

DYNAMICS OF INFLAMMATORY MEDIATORS IN
CONDITIONS OF SUBSTANCE P BLOCK35

TECHNICAL SCIENCES

Aliyeva O.

EFFECTIVE TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR THE
PREPARATION OF ADDITIONAL WATER FOR BOILERS
OF MEDIUM AND HIGH PRESSURE AND HEATING
SYSTEMS.....40

Vorontsov K., Chemborisova N.

DETERMINATION OF LIMIT MODES OF 110 KV AND
220 KV NETWORK IN TEST SCHEME IEEE-14
CONSIDERING REPLACEMENT WITH EQUIPMENT
USED IN RUSSIA.....47

Bochkarev V., Zhustareva E., Dmitrichev A.

THEORETICAL ASPECTS OF RETROREFLECTION OF
ROAD MARKING55

CHEMICAL SCIENCES

CRYSTAL STRUCTURE OF DIAQUA-BIS(N-BENZOYLANTHRANILATO)-ETHYLATO-COPPER(II)

Ziyaev M.,

*Junior Researcher, Laboratory of Complex Compounds, Institute of Bioorganic Chemistry,
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Obidova N.,

*Junior Researcher, Laboratory of Complex Compounds, Institute of Bioorganic Chemistry,
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

Nabiev U.,

*Junior Researcher, Laboratory of Complex Compounds, Institute of Bioorganic Chemistry,
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

Ashurov J.,

*Doctor of Science, Leading researcher, Head of Laboratory of Complex Compounds,
Institute of Bioorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

Khodjanliyazov Kh.

*Doctor of Science, Leading researcher, Laboratory of Complex Compounds,
Institute of Bioorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-3-6](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-3-6)

Abstract

A stable diaqua-bis(N-benzoylanthranilato)-ethylato-copper(II) complex was synthesized by the reaction of N-benzoylanthranilic acid (N-baaH) and $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ in 1:1 molar ratio in ethanol. Its crystals were structurally characterized by single crystal X-ray analysis. The complex has a distorted square planar CuO_5 geometry. In the crystal, molecules are linked in inversion-related mode, forming dimers, which generate alternate $R_2^2(12)$ ring motifs in a linked chain that runs along (100) plane. These chains are stacking via van der Waals interactions forming a two-dimensional supramolecular network.

Keywords: X-ray analysis, N-benzoylanthranilic acid, copper(II) complex, hydrogen bonds.

1. Introduction

Anthranilic acid derivatives have been known as good inhibitors of AKR1C isoenzymes, with K_i values in low micromolar or nanomolar range. Almost 30 years ago, Penning and Talalay showed that indomethacin and mefenamic acid, nonselective NSAIDs, strongly inhibit rat liver hydroxysteroid dehydrogenase AKR1C9, a model for human AKR1C isoenzymes [1]. Other nonselective NSAIDs and selective COX-2 inhibitors also proved to be potent inhibitors of AKR1C isoenzymes [2, 3]. For this purpose, a series of N-benzoyl anthranilic acid derivatives were synthesized as inhibitors of penicillin binding protein [4]. Due to their structural similarities to several known inhibitors of AKR1C enzymes, their inhibitory activity on given enzymes was tested [5, 6]. In addition, copper complexes have been much explored due to the fact that copper is

a bio-essential element responsible for numerous bio-activities in living organisms [7]. Moreover, it is well known that Cu(II) complexation plays an important role in the pharmacological profile of the antimicrobial agents [8, 9].

Here we present the synthesis and structural characterization of the new penta-coordinated copper(II) complex $\text{C}_{30}\text{H}_{29}\text{O}_9\text{N}_2\text{Cu}$, obtained by quantitatively yield of the title compound **1**.

2. Results and Discussion

The displacement ellipsoid representation and theoretical geometry structure with the atom-numbering view for diaqua-bis(N-benzoylanthranilato)-ethylato-copper(II) (**1**) is shown in Fig. 1. Carbon C29 and C30 atoms are disordered, and their ellipsoid probability level not shown owing to disordered shift.

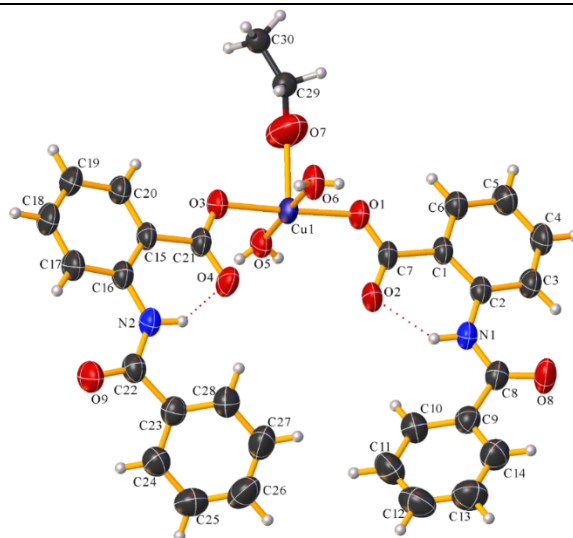


Figure 1. Molecular structure of $\text{Cu}(\text{N-baa})_2(\text{H}_2\text{O})_2\text{EtOH}$ showing the atom-numbering. Displacement ellipsoids for the non-H atoms are drawn at the 50 % probability level (except C29 and C30). The H atoms are presented with balls with arbitrary radii.

The benzene (C1-C6 and C15-C20) rings planes are not parallel to each other and its adjacent COO-groups forming a 5.455° , 8.861° and 3.652° , respectively. The metal atom of CuO4 basis is elevated from basal position no more than 4.581° , while an angles O1-Cu-O7 and O3-Cu-O7 (83.978° and 94.427°) lead to displaced vertex of pyramid (O7). The overall geometry around the penta-coordinated copper is described as a distorted square planar geometry. The bond distances Cu—O1, Cu—O3 are $1.933(4)$ Å, respectively, which slightly deviate from those found in literature for metal complex having N-benzoylanthranilic acid; whereas angles Cu—O1—C7 and Cu—O1—C21 (123.318° and 115.718°) deviate greatly to the reported values for

similar derivatives [10]. The Cu—O2 bond distance 3.085 Å and Cu—O4 bond distance average 2.887 Å, which are also in slightly great range [11].

The hydrogen bond geometry for copper(II) complex is presented in Table 2. The molecule is dimeric and is stabilized by an intramolecular N1—H1 $\cdots$ O2 and N2—H2 $\cdots$ O4 and intermolecular O5—H5 $\cdots$ O2 and O5—H5 $\cdots$ O4 hydrogen bonds; the latter generate alternate $R_2^2(12)$ ring motifs in a linked chain that runs along (100) plane. These chains are stacking along (41-5) via van der Waals interactions (C14—H29 and H5—H30) forming a two-dimensional supramolecular network (Table 1 and Fig. 2).

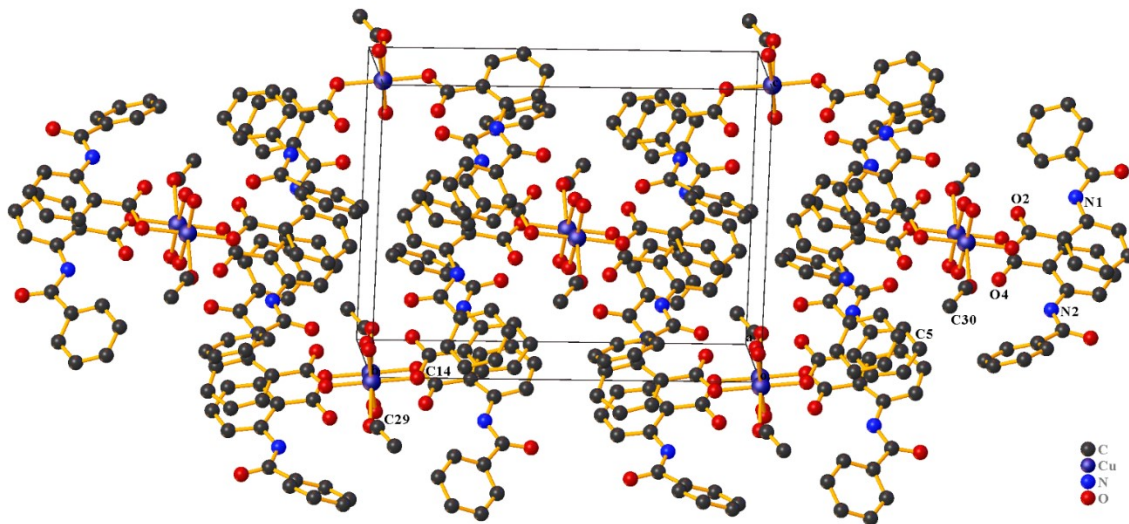


Figure 2. View of two-dimensional supramolecular network. For better viewing, the terminal intramolecular and intermolecular atoms are assigned. For clarity, H atoms have been omitted.

Table 1.

Hydrogen-bond geometry (Å, °) of the complex				
D–H···A	D – H	d(H···A)	d(D···A)	<(DHA)
N1–H1···O2	0.860	1.913	2.624	139.150
N2–H2···O4	0.660	1.893	2.605	139.232
O5–H5···O2 ⁱ	0.701	1.980	2.673	169.720
O5–H5···O4 ⁱ	0.670	2.016	2.677	168.901
O6 ⁱ –H6 ⁱ ···O9 ⁱⁱ	0.670	2.036	2.694	167.637
O6 ⁱ –H6 ⁱ ···O8 ⁱⁱⁱ	0.856	1.919	2.775	178.253

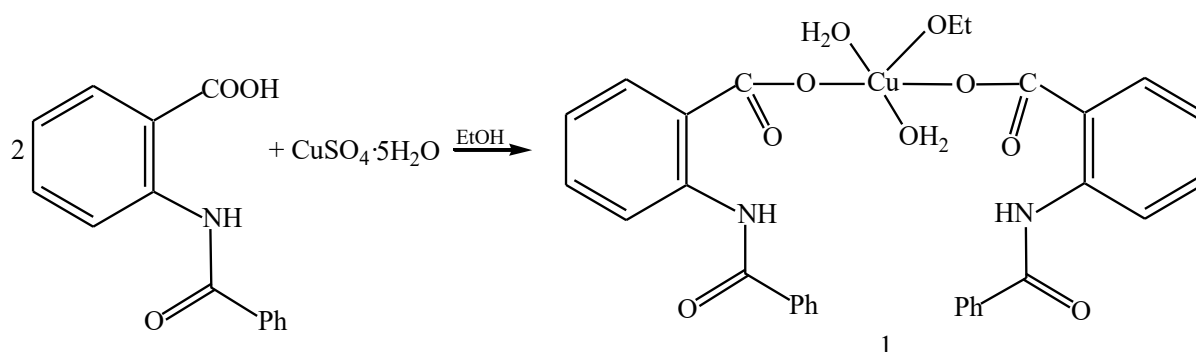
Symmetry code: (i) $-x, -y + 1, -z + 1$; (ii) $x, -y + 3/2, z - 1/2$; (iii) $x, -y + 1/2, z - 1/2$; (iv) $x + 1, y, z$; (v) $-x + 1, y + 1/2, -z + 3/2$; (vi) $x + 1, -y + 3/2, z - 1/2$; (vii) $-x + 1, -y + 1, -z + 1$; (viii) $-x + 1, y - 1/2, -z + 3/2$;

3. Material and Methods

3.1. Synthesis

The title compound **1** was obtained according to the reaction scheme 1. The crystals were grown according laboratory procedure and used low-cost standard materials for this purpose. Briefly, a mixture of N-benzoylanthranilic acid (0.02 g, 0.083 mmol) and

CuSO₄·5H₂O (0.014 mg, 0.059 mmol) in ethanol (10 mL) was sonicated for 15 min and refluxed at 75 °C for one hour. The precipitated copper(II) compound was filtered of and recrystallized from ethanol. The crystals were isolated as a bluish solid stable in air and suitable for X-ray diffraction study at 20 °C and collected in 65 % yield.



Scheme 1. Synthesis of diaqua-bis(N-benzoylanthranilato)-ethylato-copper(II).

3.2. X-ray Analysis

A crystal of the title complex **1** having approximate dimension 0.15×0.22×0.12 mm was mounted on a glass needle using lab adhesive. All measurements were made on an Oxford Diffraction Xcalibur single crystal X-ray diffractometer using graphite monochromated CuK α (λ = 1.5418 Å) radiation and CCD Ruby generation detector. Diffraction data were collected at 20 °C by the ω -scan technique. Accurate unit cell parameters and orientation matrix were obtained by a least-squares fit of several high angle reflections in the ranges $3.73^\circ < \theta < 75.75^\circ$ for the title compound. The intensity data were collected with an average four-fold redundancy per reflection and optimum resolution (0.83 Å). The intensity data collection, frames integration, Lorentz-polarization correction and decay correction were done using *CrysAlis^{Pro}* (version 1.171.37.34)

software [12]. The structure was solved by direct methods using SHELXS-97 implemented in Olex2 program suit [13]. The refinement was carried out by full-matrix least-square method on the positional and anisotropic temperature parameters of the non-hydrogen atoms, using SHELXL-97 [14, 15]. All the H atoms were positioned geometrically and constrained to ride on their parent atom with C–H = 0.93–0.97 Å, N–H = 0.86 Å and O–H = 0.67–0.85 Å, and with $U_{\text{iso}}(\text{H,H}) = 1.2 U_{\text{eq}}$ for ethyl H atoms and $1.5 U_{\text{eq}}(\text{H,H,H})$ for methyl H atoms. The general-purpose crystallography tool PLATON, ORTEP and MERCURY were used for structure analysis and presentation of the results [16–18]. Details of the data collection, crystal parameters and refinement process of compound **1** are given in Table 2.

Table 2.

Experimental details	
Crystal data	
Empirical formula	C ₃₀ H ₂₉ O ₉ N ₂ Cu
M_r	625.09
Crystal system, space group	Monoclinic, $P2_1/c$
Temperature (K)	293
a, b, c (Å)	13.0395(5), 16.3395(3), 14.4133(5)
β (°)	114.689(5)
V (Å ³)	2790.17(19)
Z	4
Radiation type	CuK α
Crystal size (mm)	0.15×0.22×0.12
Calculated density (Mg/m ³)	no measured
Absorption coefficient (mm ⁻¹)	1.615
$F(000)$	1296
Data collection	
Absorption correction	no
T_{min}, T_{max}	0.689, 0.834
No. of measured, independent and observed [$I > 2\sigma(I)$] reflections	12729, 5703, 4331
R_{int}	0.0208
Theta range for data collection (°)	3.73 to 75.75
Refinement	
Index ranges	$-16 \leq h \leq 14, 0 \leq k \leq 20, 0 \leq l \leq 17$
$R[F^2 > 2\sigma(F^2)], wR(F^2), S$	0.0442, 0.1402, 1.058
No. of reflections / restraints / parameters	5703 / 0 / 397
Goodness-of-fit on F^2	1.058
Completeness, [$d_{min}-d_{max}$] (%)	98.04
H-atom treatment	H-atom parameters constrained
$\Delta\rho_{max}, \Delta\rho_{min}$ (e Å ⁻³)	0.47, -0.55
Final R indices [$I > 2\sigma(I)$]	$R1=0.0442, wR2=0.1402$
R indices (all data)	$R1=0.0579, wR2=0.1313$
CCDC reference	2033596

Acknowledgments

The work was supported by the Program of Basic Research of the Academy of Sciences of the Uzbekistan (grant VA-FA-F7-004).

REFERENCES:

1. Penning, T. M., Talalay, P. Med. Sci. 1983, 80, 4504.
2. Bauman, D. R., Rudnick, S. I., Szewczuk, L. M., Jin, Y., Gopishetty, S., Penning, T. M. Mol. Pharmacol. 2005, 67, 60.
3. Gobec, S., Brožič, P., Rižner, T. L. Bioorg. Med. Lett. 2005, 15, 5170.
4. Sosič, I., Turk, S., Sinreih, M., Trošt, N., Verlaine, O., Amoroso, A., Zervosen, A., Luxen, A., Joris, B., Gobec, S. Acta Chim. Slov. 2012, 59, 380.
5. Brožič, P., Šmuc, T., Gobec, S., Rižner, T. L. Mol. Cell. Endocrinol. 2006, 259, 30.
6. Brožič, P., Turk, S., Lanišnik-Rižner, T., Gobec, S. Curr. Med. Chem. 2011, 18, 2554.
7. Tapiero, H., Tew, K. D. Biomed. Pharm. 2003, 57, 399.
8. Haiduc, I., Silvestru, C. Organometallics in Cancer Chemo-therapy, 1989, CRS, Press, Boston.
9. Linder, M. C., Goode, C. A. Biochemistry of Copper, 1991, Plenum, New York.
10. J. Kaizer, T. Csay, M. Czaun, G. Speier, M. Réglér, M. Giorgi. Inorg. Chem. Comm., 2005, 8, 813-816.
11. J. Kaizer, T. Csay, G. Speier, M. Réglér, M. Giorgi. Inorg. Chem. Comm., 2006, 9, 1037-1039.
12. Agilent Technologies, CrysAlis^{PRO}, 2014, Yarnton, Oxfordshire, UK.
13. Dolomanov, O. V., Bourhis, L. J., Gildea, R. J., Howard, J. A. K. & Puschmann, H. J. Appl. Cryst., 2009, 42, 339-341.
14. G.M. Sheldrick. Acta Cryst., 2008, A64, 112-122.
15. G. M. Sheldrick, Acta Cryst., 2015, C71, 3-8.
16. A. L. Spek, J. Appl. Cryst., 2009, D65, 148.
17. L. J. Farrugia, J. Appl. Cryst., 1997, 30, 565.
18. I. J. Bruno, J. C. Cole, P. R. Edgington, M. Kessler, C. F. Macrae, P. McCabe, J. Pearson, R. Taylor, Acta Crystallogr., 2002, B58, 389.

CYTOTOXICITY OF DICLOFENAC AND ETHYLENEDIAMINE COMPLEXES WITH Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+}

Obidova N.,

*Junior Researcher, Laboratory of Complex Compounds, Institute of Bioorganic Chemistry,
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

Ziyaev M.,

*Junior Researcher, Laboratory of Complex Compounds, Institute of Bioorganic Chemistry,
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent*

Ashurov J.,

*Doctor of Science, Leading researcher, Head of Laboratory of Complex Compounds,
Institute of Bioorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

Khodjaniyazov Kh.

*Doctor of Science, Leading researcher, Laboratory of Complex Compounds,
Institute of Bioorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan;
Lecture at Chemical Faculty, National University of Uzbekistan*

DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-7-9](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-7-9)

Abstract

Recently it was synthesized an organic salt of diclofenac with ethylenediamine and complex compounds of these two ligands and metal cations Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} , the structures of which were confirmed by the X-ray analyses. Investigation on cytotoxicity of the complexes against to *HeLa* cells showed 2.0-4.4 times efficacy then parent diclofenac. Once again proven that complexation with metals leads to an enhancement of the activity of the pharmaceutical drug.

Keywords: diclofenac, metal complex, organic salt, cytotoxicity, Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} cations.

Introduction.

The non-steroidal anti-inflammatory drug of diclofenac (DCF) is widely used in medicine since 1973 [1]. This drug is gradually becoming promising in the treatment of different types of cancer [2]. It was summarised the evidence for an anti-cancer effect of DCF treatment drawing on *in vitro*, *in vivo* and human data. The established pharmacokinetics and known toxicity profile make DCF a strong candidate for repurposing as an oncological treatment, both in combination with existing standard of care treatments or in a cocktail with other repurposed drugs [3]. Sometimes synergism is observed when DCF is used in combination with other drugs, as well as in their conjugates. Compound *cis*-[Pt(DCF)₂(NH₃)₂], in which DCF molecules are coordinated to Pt(II) through their carboxylic group, is more potent than parental conventional Pt(II) drug cisplatin, free DCF and the congeners of it in which diclofenac ligands are conjugated to Pt(II) via a diamine. The potency of *cis*-[Pt(DCF)₂(NH₃)₂] is due to several factors including enhanced internalization that correlates with enhanced DNA binding and cytotoxicity [4].

The released parental DCF molecules should be able to carry out their biological functions and the [Pt(NH₃)₂(H₂O)₂]²⁺ moiety should be able to interact with its key target (nuclear DNA).

DCF shows anti-proliferative effects against L929 cells [5]. Furthermore, topical DCF in 2.5% hyaluronan shows the inhibition of colon-26 Adenocarcinoma development and angiogenesis [6]. Upon obtaining of complexes of a known preparation with metals, solubility and bioavailability is usually increased [7]. The corneal toxicity of preservative-containing solutions of

DCF has already been documented [8-10] and later revealed that preservative-free DCF exhibit considerable toxicity [11].

Herein, we describe the X-ray structural analysis and cytotoxicity assessment against *HeLa* cells of DCF complexes with ethylenediamine (EDA): (DCF·EDA), [M(DCF)₂], and mixed ligand complexes - [M(EDA)₂(H₂O)₂](DCF)₂, where M= Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} , EDA – ethylenediamine.

Materials and methods.

In order to obtain DCF complexes with biometals, aqueous ethanol solutions of acetates of Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} were vigorously stirred with DCF and ethylenediamine (EDA) in 1:1:1 molar ratio, respectively. After two hours of refluxing the reaction mixture, hot filtration was carried out. Then the mother liquor was left at room temperature for two weeks. The growths of single crystals were further observed, which were filtered off and dried. The molecular and crystal structures of these single crystals have been studied by X-ray diffraction analysis. Thus, we have synthesized complexes of d-metals such as Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} with the anti-inflammatory drug DCF. Ethylenediamine was used as an additional ligand. The metal complexes synthesized by us are characterized by chelation of a metal ion with both two molecules of EDA and water, and DCF anions situated on the external coordination sphere. The cytotoxicity against *HeLa* cells of synthesized complexes were studied by MTT method.

Results and discussion.

The structures of the synthesized compounds.

The synthesis of biometal complexes with DCF and EDA was carried out and their structures were determined by X-ray diffraction method. Organic salt of DCF with EDA characterized by molar ratio of 1:2, *i.e.* each protonated on N atoms EDA molecule H-bonded

with two deprotonated on carboxylic acid moiety DCF molecules. All synthesized metal complexes are similar by their molecular and crystal structure, *i.e.* they are isostructural. The metal cation is coordinated with two molecules of EDA and two water molecules in complexes of diclofenac with Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} .

Complexes $[\text{Ni}(\text{EDA})_2(\text{H}_2\text{O})_2](\text{DCF})_2$ (1), $[\text{Cu}(\text{EDA})_2(\text{H}_2\text{O})_2](\text{DCF})_2$ (2) and

$[\text{Cu}(\text{EDA})_2(\text{H}_2\text{O})_2](\text{DCF})_2$ (3) are also isostructural. In all structures, the central metal ion lies on a symmetry center. The coordination geometry is elongated octahedron with two aqua ligands occupying the apical positions. The DCF anionic moieties are located outside of the first coordination sphere. Due to the aforementioned structural similarity, complexes 1-3 exhibit also a very similar packing pattern (Fig. 1).

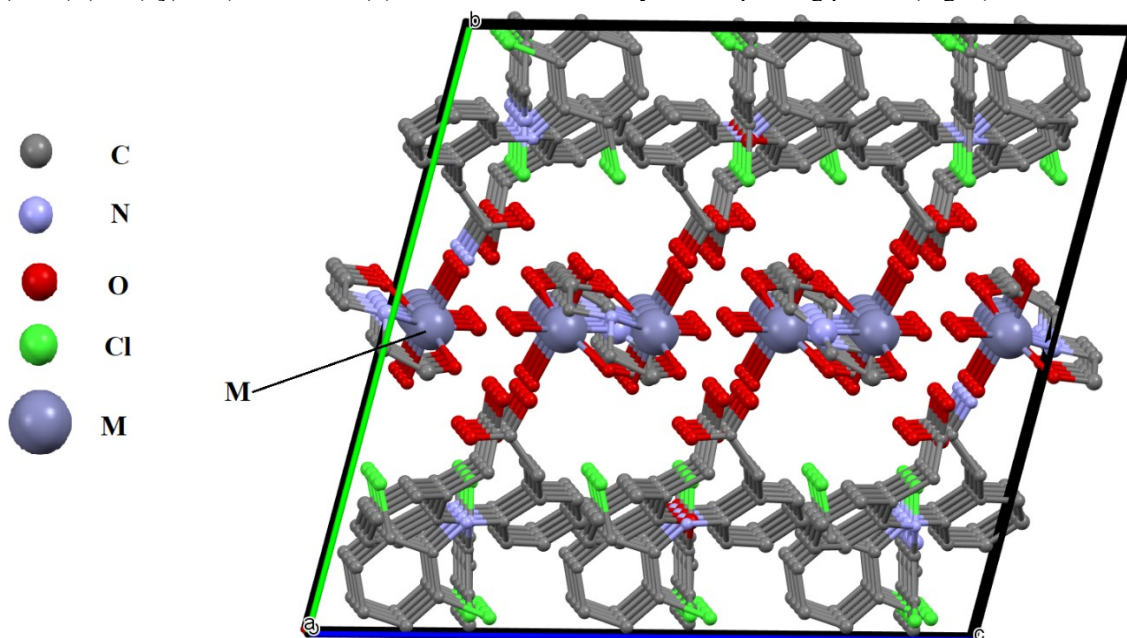


Fig. 1. Packing of the cations $[\text{M}(\text{EDA})_2(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$ and anions DCF in the isostructural crystal structures, where $\text{M}=\text{Ni}^{2+}$, Cu^{2+} and Zn^{2+} .

The cytotoxicity. The cytotoxic activity of new DCF complexes in comparison with the original DCF was studied. The cytotoxic effect of substances on *HeLa* cell culture was evaluated by the biochemical MTT method. It was revealed that metal complexes exhibit cytotoxic activity 2.0-4.4 times higher than DCF itself.

The efficacy of substances on cell culture. Cytotoxicity was evaluated biochemically using the MTT method. To determine the cytotoxic effect, *HeLa* cells were scattered into 96-well plates in an amount of 20-30 thousand cells/mL in 100 μL of RPMI 1640 medium

with 10% serum of calf embryo and cultured at a temperature of 37°C in a CO_2 incubator. After a day, substances were introduced at concentrations of 10 and 1 $\mu\text{g/mL}$, cells were cultured for 24 hours, and then MTT [3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazolium bromide] was introduced into cells to detect living cells [12]. After 3 hours of incubation, the medium was carefully drained, DMSO was added and incubated for 20 minutes, and then the optical density of the solution was measured at a wavelength of 620 nm. Reference is cells without treatment, where degree of MTT entrance into cells is 100% (0% inhibition). The obtained results listed in Table 1.

Table 1.

Efficacy of compounds against to *HeLa* cell cultures

Dose, μg Sample	Inhibition of MTT introduction in cells, %	
	100	10
DCF	20,2	23,5
EDA	25,5	36,1
(DCF·EDA)	38,3	6,1
$[\text{Zn}(\text{DCF})_2]$	47,0	40,6
$[\text{Zn}(\text{EDA})_2(\text{H}_2\text{O})_2](\text{DCF})_2$	20,7	22,1
$[\text{Cu}(\text{DCF})_2]$	88,4	43,4
$[\text{Cu}(\text{EDA})_2(\text{H}_2\text{O})_2](\text{DCF})_2$	28,6	39,4
$[\text{Ni}(\text{DCF})_2]$	30,4	12,2
$[\text{Ni}(\text{EDA})_2(\text{H}_2\text{O})_2](\text{DCF})_2$	9,3	7,1
Cisplatin	95,7	63,4

It was determined that the cytotoxic activity of the mixed-ligand complexes of DCF is lower than that of the complexes of diclofenac with metal cations. This result can be explained by the fact that due to the high donor ability of ethylenediamine, this molecule attracts metal cations, and the diclofenac molecule is displaced into the external sphere of the complexes.

Conclusion.

The metal-complexes of DCF with Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} cations exhibit stronger cytotoxic activity against *HeLa* cells than initial diclofenac, *i.e.*, a complex formation of DCF with metal cations enhances significantly its cytotoxicity. Addition of EDA as a ligand leads to the disposition of DCF molecules to outer sphere of the complex. Thus, synthesis and structural study of DCF complexes is attractive from the theoretical and practical view of points.

REFERENCES:

1. V.A. Skoutakis, C.A. Carter, T.R. Mickle, V.H. Smith, C.R. Arkin, J. Alissandratos, and D.E. Petty. Review of diclofenac and evaluation of its place in therapy as a nonsteroidal anti-inflammatory agent. *Drug Intell. Clin. Pharm.* 1988. 22. 850-859.
2. E.D. Arisan, R.O. Akar, O. Rencuzogullari, P.O. Yerlikaya, A.C. Gurkan, B. Akin, E. Dener, E. Kayhan, N.P. Unsal. The molecular targets of diclofenac differ from ibuprofen to induce apoptosis and epithelial mesenchymal transition due to alternation on oxidative stress management p53 independently in PC3 prostate cancer cells. *Prostate International*. 2019. 7. 156-165.
3. P. Pantziarka, V. Sukhatme, G. Bouche, L. Meheus, V.P. Sukhatme. Repurposing drugs in oncology (ReDO) – diclofenac as anti-cancer agent. *ecancer*. –2016. 10. 610.
4. F.P. Intini, J. Zajac, V. Novohradsky, T. Saltarella, C. Pacifico, V. Brabec, G. Natile, J. Kasparova. Novel antitumor platinum (II) conjugates containing the nonsteroidal anti-inflammatory agent diclofenac: synthesis and dual mechanisms of antiproliferative effects. *Inorg. Chem.* 2017. 56(3). 1483-1497.
5. R. Ahmadi, L. Ghaderi, G. Keyhani. The Effects of Diclofenac on Proliferation of L929 Tumor Cell Line in Cell culture. *Proceedings of 2015 Int. Conference on Biological and Environmental Sciences (BIOES-15)*, Phuket, Thailand, October 1-2, 2015.
6. M.P. Seed, J.R. Brown, C.N. Freemantle, J.L. Papworth, P.R. Colvillie-Nash, D. Willis, K.W. Somerville, S. Asculai, D.A. Willoughby. The Inhibition of colon-26 Adenocarcinoma Development and Angiogenesis by Topical Diclofenac in 2.5% Hyaluronan. *Cancer Res.* 1997. 57. 1625-1629.
7. J.E. Weder, C.T. Dillon, T.W. Hambley, B.J. Kennedy, P.A. Lay, J.R. Biffin, H.L. Regtop, N.M. Davies. Copper complexes of non-steroidal anti-inflammatory drugs: an opportunity yet to be realized. *Coord. Chem. Rev.* 2002. 232. 95-126.
8. A.C. Guidera, J.I. Luchs, I.J. Udell. Keratitis, ulceration, and perforation associated with topical non-steroidal anti-inflammatory drugs. *Ophthalmology*. 2001. 108(5). 936–944.
9. T.P. O'Brien, Q.J. Li, F. Sauerburger, V.E. Reviglio, T. Rana, M.F. Ashraf. The role of matrix metalloproteinases in ulcerative keratolysis associated with perioperative diclofenac use. *Ophthalmology*. 2001. 108(4). 656–659.
10. J.K. Hsu, W.T. Johnston, R.W. Read, et al. Histopathology of corneal melting associated with diclofenac use after refractive surgery. *J. Cataract Refract Surg.* 2003. 29(2). 250–256.
11. M. Ayaki, A. Iwasawa, M. Soda, S. Yaguchi, R. Koide. Cytotoxicity of five fluoroquinolone and two nonsteroidal anti-inflammatory benzalkonium chloride-free ophthalmic solutions in four corneal conjunctival cell lines. *Clin. Ophthalmol.* 2010. 4. 1019–1024.
12. Mosmann T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. *Immunol. methods. USA.* 1983. 65. 55-63.

CRYSTALLIZATION OF A MIXTURE OF COCOA BUTTER AND NEW MODIFIED FATS**Havriushenko K.,***Postgraduate Student, Department of Technology of Fats and Fermentation Products National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine***Gladkiy F.,***Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technology of Fats and fermentation Products, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine***Baumer V.,***PhD, Senior Researcher, SSI STC «Institute for Single Crystals» NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.***Mazaieva V.***PhD, research associate, Department of Studies of Technology for Processing Oils and Fats Ukrainian Research Institute of Oils and Fats of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.***КРИСТАЛІЗАЦІЯ СУМІШІ КАКАО-МАСЛА ТА НОВИХ МОДИФІКОВАНИХ ЖИРІВ****Гаврюшенко К.О.,***Аспірант, Кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.***Гладкий Ф.Ф.,***Доктор технічних наук, професор, Кафедра технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.***Баумер В.М.,***Кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, Державна наукова установа НТК «Інститут монокристалів» НАН України, Харків, Україна.***Мазасва В.С.***Кандидат технічних наук, науковий співробітник, Відділ досліджень технології переробки олій і жирів Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України, Харків, Україна.*DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-10-19](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-10-19)**Abstract**

The processes of crystallization of a mixture of cocoa butter and new modified fats - ethyl esters of stearic acid are considered in the article. Ethyl stearate is a promising product for the confectionery industry in terms of providing solid low-melting modified fats without trans-isomers. The aim of the study is to obtain β_2 (V) stable modifications of cocoa butter. X-ray analysis and differential scanning calorimetry were used in the studies. The results of the study indicate that: - at a concentration of cocoa butter of 50% or more ethyl stearate turns into an amorphous state; - a mixture of ethyl stearate and cocoa butter does not form solid solutions at any concentration; - the addition of ethyl stearate to chocolate products reduces the viscosity of cocoa butter, which probably allows the formation of cocoa butter crystals in a stable modification, thus avoiding the "blooming" of the finished product.

Анотація

В статті розглянуто процеси кристалізації суміші какао-масла та нових модифікованих жирів – етилових ефірів стеаринової кислоти. Етилстеарат є перспективним продуктом для кондитерської промисловості щодо забезпечення твердими низькоплавкими модифікованими жирами без транс-ізомерів. Метою дослідження є отримання β_2 (V) стабільних модифікацій какао-масла. При виконанні досліджень використовували методи рентгенофазного аналізу та диференційно-скануючої калориметрії. Результати дослідження свідчать про те що: - при концентрації какао-масла 50% і більше етилстеарат переходить в аморфний стан; - суміш етилстеарату та какао-масла не утворює твердих розчинів при будь-яких концентраціях; - додавання етилстеарату до шоколадних виробів знижує в'язкість какао-масла, що, імовірно, дозволяє сформувати кристали какао-масла в стабільній модифікації тим самим уникаючи «посивіння» готового продукту.

Keywords: ethyl stearate, cocoa butter, crystallization, tempering, X-ray phase analysis, differential scanning calorimetry.

Ключові слова: етилстеарат, какао-масло, кристалізація, темперування, рентгенофазовий аналіз, диференційно-скануюча калориметрія.

Вступ. Інноваційним продуктом для кондитерської промисловості є нові модифіковані жири – етилові ефіри стеаринової кислоти. Етилстеарат за своїми властивостями подібний до природного какао-масла, що дозволяє використовувати його в якості нової альтернативи. В порівнянні з іншими модифікованими жирами альтернативними какао-маслу, етилстеарат має низку вагомих переваг:

- не потребує процесу темперування;
- стійкий до окиснення;
- має високу твердість;
- не містить транс-ізомерів жирних кислот;
- має температуру плавлення в точці (33,4 °C);
- змішується з какао-маслом в будь-якому співвідношенні;
- не викликає жирового «посивіння» в шоколадних виробках.

Найбільша перевага етилстеарату, в порівнянні з модифікованими жирами альтернативними какао-маслу в тому, що його плавлення відбувається в точці і вміст твердих ефірів при 20 °C більше 90%. Це обумовлює унікальні органолептичні властивості, а саме відчуття холоду в роті при вживанні шоколадних продуктів на основі етилстеарату.

Використання етилових ефірів жирних кислот у складі харчових продуктів, зокрема етилстеарату в кондитерських виробках, є новим підходом в механізмі забезпечення організму людини необхідними жирними кислотами, які не впливають на розвиток

серцево-судинних захворювань [1], що є надзвичайно актуальною задачею для олійно-жирової галузі.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Природне какао-масло має унікальний ацилгліцериновий склад, також в ньому наявні цінні антиокисидантні та психостимулюючі речовини. В какао-маслі міститься близько 80% 2-олеодинасичених ацилгліцеринів, що зумовлюють його високу твердість при низькій температурі плавлення. В процесі виготовлення шоколаду какао-масло відіграє ключову роль. Крихкість, твердість та різке танення, що властиві для шоколаду, забезпечені кристалами какао-масла, що утворюють безперервну фазу в якій у вигляді суспензії містяться дрібні частинки цукру, какао-порошка, какао-тертого та сухого молока, які становлять близько 70 мас.% від загальної маси шоколаду [2]. Відомо, що какао-масло існує в шести поліморфних модифікаціях: γ (I), α (II), α' (III), β' (IV), β_2 (V), β_1 (VI) [2 - 4]. Температури плавлення різних поліморфних форм ацилгліцеринів какао-масла наведені в таблиці 1 [5]. Темперування є важливим процесом для створення стабільних форм какао-масла в шоколадній суспензії. В'язкість темперованого шоколаду збільшується за рахунок збільшення кристалів типу β_2 (V) [6]. Основна мета темперування полягає в формуванні стабільних β_2 (V) кристалів ацилгліцеринів какао-масла. Темперований шоколад має стабільну текстуру, гладку та блискучу поверхню, що зберігаються довгий час.

Таблиця 1

Температури плавлення поліморфних форм какао-масла [5]

Поліморфні форми	Температура плавлення, °C
γ (I)	16 – 18
α (II)	21 – 24
α' (III)	25 – 27
β' (IV)	27 – 28
β_2 (V)	30 – 33,8
β_1 (VI)	34 – 36,3

Для створення «зародків» кристалів β_2 (V) в шоколаді існує два основних процеси.

Перший передбачає створення «зародків» в об'ємі шляхом процесу темперування. Цей процес відбувається наступним чином. Шоколад спочатку нагрівається до 45 °C, щоб розплавити всі шість форм кристалів. Потім шоколад охолоджується до 27 °C, що дозволяє сформувати кристали β' (IV) та β_2 (V) типу. При цій температурі шоколад перемішується і в ньому виникає безліч дрібних кристалічних «зародків», які слугуватимуть ядрами для створення дрібних кристалів у шоколаді. Потім шоколад нагрівають до приблизно 31 °C для усунення будь-яких кристалів β' (IV) типу, залишаючи лише тип β_2 (V).

Інший процес пов'язаний з внесенням «зародків» кристалів типу β_1 (VI). Цей процес передбачає додавання до шоколаду какао-масла в якому у вигляді кристалічної суспензії містяться «зародки» кристалів типу β_1 (VI). Кристалічна суспензія какао-масла містить приблизно 10-30% «зародків»

кристалів. Від 0,2 до 2% суспензії (відносно загальної маси шоколаду) додають до шоколаду, який підігрітий до температури 34 °C. У звичайному процесі попередньої кристалізації вся шоколадна маса проходить темперування і піддається дії щонайменше трьох температурних етапів. При внесенні «зародків» кристалізації використовується менша кількість чистого какао-масла (0,2-2% відповідно до загальної маси). Шоколадна маса охолоджується до температури утворення «зародків» за один крок. Такий процес дозволяє досягти зниження енергетичних витрат [7].

Кристалічну суспензію «зародків» β_1 (VI) типу в какао-маслі отримують розпиленням порошку какао-масла в попередньо охолоджену рідкому какао-маслі. Порошок какао-масла являє собою «зародки» кристалів типу β_1 (VI), що ініціюють кристалізацію для отримання кристалічної суспензії какао-масла. Для досягнення достатньої концентрації «зародків» кристалів суспензію порошку какао-масла слід охолодити до температури нижче 28 °C. На цьому етапі охолодження в рідкому какао-маслі

утворюються, переважно, кристали β_2 (V). Після повторного нагрівання суспензії до 32 ° C утворюються кристали β_1 (VI) [7].

Кінетику кристалізації можна розділити на три стадії ініціювання (формування «зародків»), ріст кристалів і охолодження. При статичній кристалізації рідкого какао-масла без «зародків» кристалів, кінетика кристалізації сильно залежить від температури охолодження. При температурах охолодження від 10 до 25 ° C безпосередньо утворюються нестабільні модифікації кристалів (α (II), α' (III), β' (IV)). Вводячи стабільні кристалічні «зародки» (порошок какао-масла β_2 (V), β_1 (VI)), рідке какао-масло кристалізується швидше і безпосередньо в модифікації β_2 (V) шляхом росту кристалів. Це пов'язано з тим, що енергія активації для росту кристалів при модифікації β_2 (V) зменшується за рахунок внесення «зародків» [7].

В роботі [8] встановлено, що вирішальною стадією при кристалізації ацилгліцеринів є формування «зародків», тому що поліморфна форма центрів кристалізації зумовлює утворення відповідної поліморфної форми на стадії росту кристалів. Морфологія та поліморфізм центрів кристалізації визначається конкуренцією між в'язкістю та поверхневою дифузією при формуванні «зародків» і залежить від швидкості охолодження розплаву чи розчину.

Формування «зародків» представляє собою процес утворення невеликих кристалів в розчині, які надалі ростуть [9]. Ядра утворюються за рахунок накопичення і агрегації молекул в рідкій фазі (так зване гомогенне утворення «зародків»). Утворенню «зародків» можуть сприяти й зовнішні ядра (так зване гетерогенне утворення «зародків»). Швидкість утворення «зародків» залежить від температурного профілю і насичення, а також від форми поліморфних кристалів і визначає кількість і розмір кристалів [9].

Поліморфізм какао-масла обумовлює поведінку шоколадних виробів при застиганні і зберіганні [10, 11]. Перш за все це проявляється у виникненні «посивіння» - найбільш поширеного дефекту на поверхні шоколадних виробів [12, 13].

Деякі автори визначили перехід від форми β_2 (V) до β_1 (VI) основним прийнятим механізмом пояснення появи «посивіння» жиру, як правило, після тривалого часу зберігання та / або коливань температури [14, 15, 2]. «Посивіння» шоколаду можна уповільнити шляхом правильної кристалізації ацилгліцеринів какао-масла в стабільній β_2 (V) формі та зберіганні шоколадних виробів при постійних температурах ≤ 25 ° C [2]. Заміна какао-масла молочним жиром в шоколадній композиції затримує утворення «посивіння» шляхом уповільнення переходу кристалів від β_2 (V) до β_1 (VI) [16, 17].

Затримати процес «посивіння» можна додаючи до шоколаду різні мінорні компоненти.

Наприклад, «вільні» жирні кислоти збільшують час кристалізації какао-масла, але тільки при концентраціях вище 2% [18].

Емульгатори майже завжди є обов'язковим компонентом шоколаду. Емульгатори можна умовно розділити на дві категорії - ті, що впливають на реологічні властивості, та ті, що впливають на кристалізацію. Лецитин, синтетичні фосфоліпіди та полігліцерин полірицинолеат переважно впливають на реологічні властивості, тоді як ефіри сорбітану, моноацилгліцерини та етоксильовані ефіри сорбітану вводяться для керування кристалізацією. Лецитин – найбільш поширена поверхнево-активна речовина (ПАР), яку додають при виготовленні шоколаду. Гідрофільна частина лецитину взаємодіє з сахарозою, а ліпофільна – з ліпідом. Таким чином, лецитин діє як емульгатор, зменшуючи внутрішнє тертя, а отже й зменшуючи в'язкість [19].

Ефіри сорбітану, особливо тристеарат сорбітану, є ефективними добавками для поліпшення та збереження блиску в шоколаді. Тристеарат сорбітану також має перевагу в тому, що злегка підвищує вміст твердого жиру при 35 ° C і зменшує його при більш високих температурах, що забезпечує тривале збереження шоколадних виробів. В роботі [20] показано, що додавання від 0,2 % до 5 % тристеарату сорбітану знижують температуру плавлення какао-масла у формі β_2 (V) і збільшують рідку фракцію при 29 ° C від 27 % до 34 %. Оскільки перехід від менш стабільної форми β' (IV) стабільної форми β_2 (V) відбувається через розплав, тристеарат сорбітану сприяє цьому переходу. В дослідженні [3] також показано, що тристеарат сорбітану затримує перехід β_2 (V) до β_1 (VI), таким чином зберігаючи блиск шоколадних виробів.

Позитивна ефективність моностеарат сорбітану, як структуроутворювача какао-масла, пояснюється низькою розчинністю в органічному середовищі та здатністю до самозбірки, утворюючи тривимірну мережу, здатну захопити ліпідну фазу [3].

В роботі [21] повідомили, що тверді ефіри сорбітану, такі як тристеарат сорбітану, моностеарат сорбітану, а також монопальмітат сорбітану, у концентраціях 0,1-5,0 мас.% прискорюють ранню стадію кристалізації какао-масла.

В роботі [22] досліджували вплив моностеарату сорбітану та стеаринової фракції какао-масла на утворення жирового «посивіння» на поверхні шоколадних виробів. Оцінку проводили за індексом білизни та візуальними спостереженнями. Зразки шоколадних виробів з моностеаратом сорбітану та стеарином какао-масла зберігали протягом 90 днів при постійній температурі 20 ° C. При коливанні температур від 20 до 32 ° C додавання моностеарату сорбітану (0,15%, мас.) або стеарину какао-масла (6,0%, мас.) до рецептур темного шоколаду може успішно стримувати утворення жирового «посивіння» на 15 та 45 днів відповідно.

Зважаючи на вищезазначену інформацію залишається актуальним управління процесом кристалізації какао-масла.

Задача дослідження – з'ясувати можливість управління процесом кристалізації композицій на основі какао-масла шляхом зміни складу суміші та умов їх затвердіння.

Мета дослідження – отримання β_2 (V) стабільних модифікацій какао-масла.

Матеріали та методи дослідження. Для досліджень використовували нерафіноване какао-масло промислового виробництва ТМ «Бісквіт-шоколад» (Україна) та етилстеарат, отриманий шляхом етерифікації стеаринової кислоти (Німеччина) етиловим спиртом (96%) згідно зі способом описаним в патенті № 143173 [23], з яких приготовані суміші у співвідношенні етилстеарату до какао-масла 5, 25, 50 та 75 %. Також використали продукт «Мусгуо» - кристалізоване какао-масло у вигляді порошку фірми «Callebaut» (Бельгія). Два відсотки «Мусгуо», додані до розтопленого шоколаду, виділяють необхідну кількість стабільних кристалів для отримання ацилгліцеринів какао-масла в формі β_2 (V).

Для дослідження процесів плавлення етилових ефірів стеаринової кислоти та їх сумішей з какао-маслом використовували диференційно-скануючий калориметр DSC Q-20 TA Instruments (США) [24].

Рентгенофазний аналіз какао-масла, етилстеарату та їх сумішей виконано на порошковому дифрактометрі Siemens D500 (Німеччина) (геометрична схема Брегга-Брентано) в мідному випромінюванні з графітовим монохроматором. Повнопрофільні дифрактограми виміряні в інтервалі кутів $2 < 2\theta < 50^\circ$ з кроком 0.02° . Для фазового аналізу були зроблені еталонні картки для зразків чистого какао-масла та етилстеарату, за допомогою яких було проведено якісний аналіз.

Кінематичну в'язкість вимірювали за допомогою капілярного віскозиметра ВПЖ – 2 з діаметром капіляру 1,77 мм.

Результати дослідження. Рентгенофазний аналіз етилстеарату (ЕС), какао-масла (МК) та їх сумішей продемонстрував, що значна частина какао-масла в твердому стані, представляє собою аморфну речовину на відміну від етилстеарату, який характеризується як чиста кристалічна речовина. Рентгенограми етилстеарату та какао-масла представлені на рисунках 1 і 2.

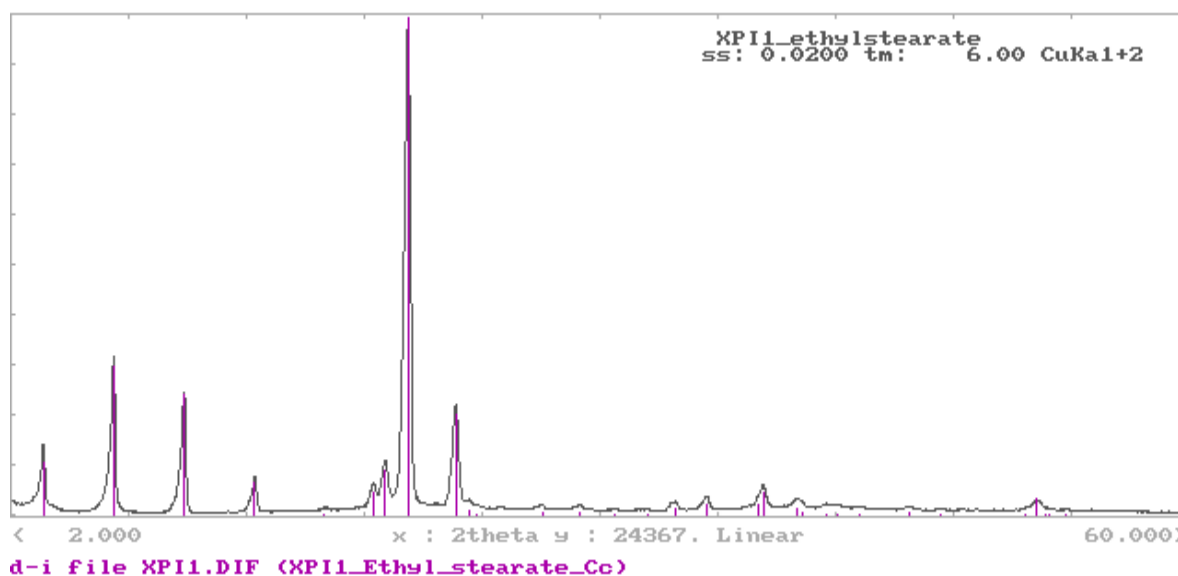


Рисунок 1 – Рентгенограма етилових ефірів стеаринової кислоти

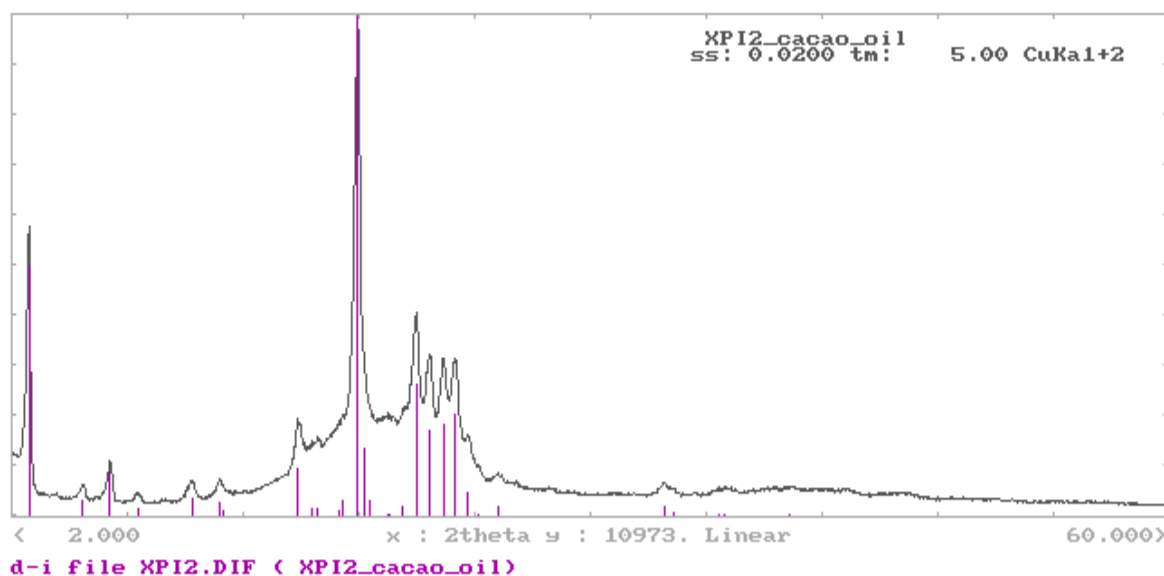


Рисунок 2 – Рентгенограма какао-масла

Наявність значної частини аморфної речовини в какао-маслі, мабуть, можна пояснити відсутністю можливості в виникненні твердих розчинів через значну різницю властивостей та структури ацилгліцеринів, що входять до складу какао-масла. Ацилгліцериновий склад какао-масла непостійний і залежить від сорту та місцевості, де вирощують какао-боби [5].

Також, необхідно відмітити, що всі компоненти природного какао-масла змішані один з одним

в певному співвідношенні. Теж саме можна спостерігати при змішуванні етилстеарату та какао-масла. Якщо вміст етилстеарату в суміші з какао-маслом складає приблизно 50 % мас. на рентгенограмі (рисунк 3) практично відсутні лінії характерні для кожного з компонентів, тобто суміш представляє собою аморфну речовину з якої не може кристалізуватись жоден з компонентів за будь-якої температури.

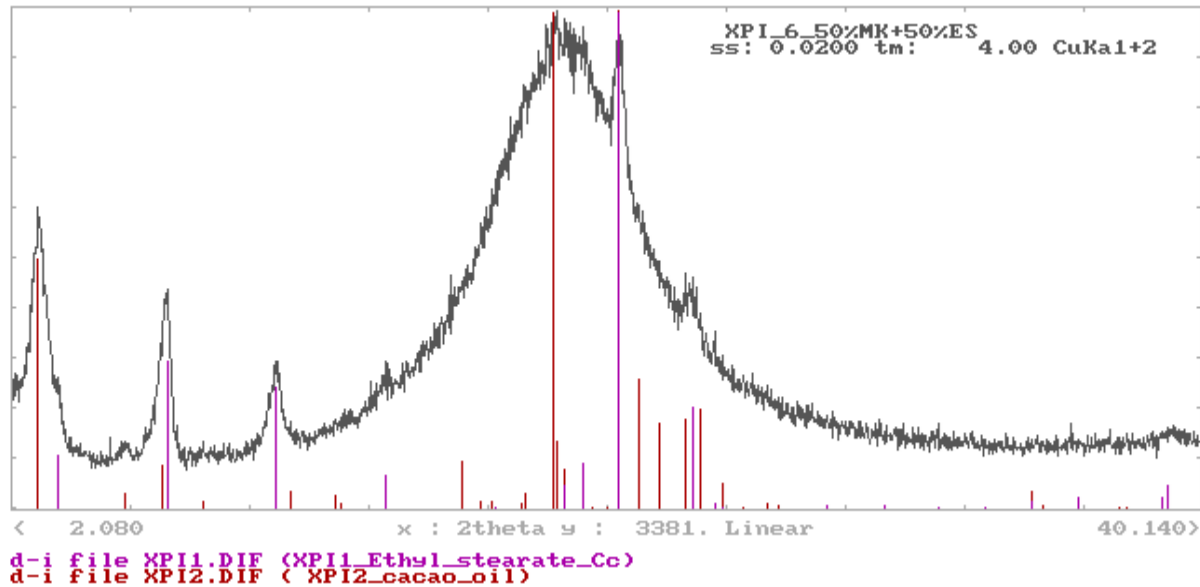


Рисунок 3 – Рентгенограма суміші етилстеарата та какао-масла у співвідношенні 50:50

Зміна співвідношення ЕС і МК призводить до того, що при співвідношенні 75% ЕС та 25 % МК частина етилстеарату та все какао-масло переходять в аморфний стан, а при 25% ЕС та 75% МК –

навпаки. Про цей ефект свідчать рентгенограми сумішей ЕС та МК наведені на рисунках 4 та 5.

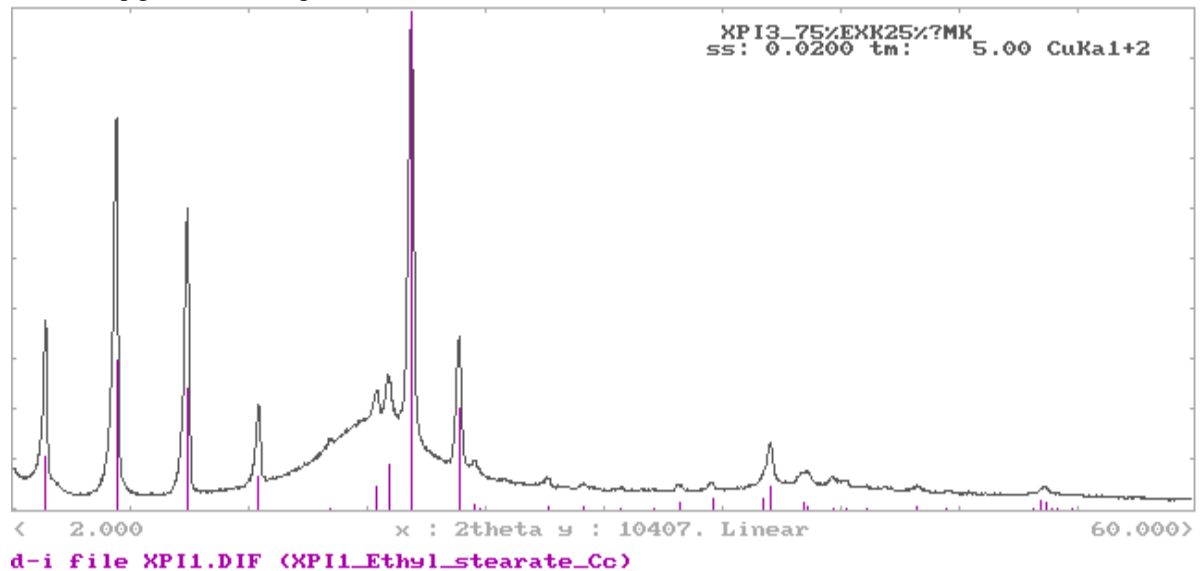


Рисунок 4 – Рентгенограма суміші етилстеарата та какао-масла у співвідношенні 75:25

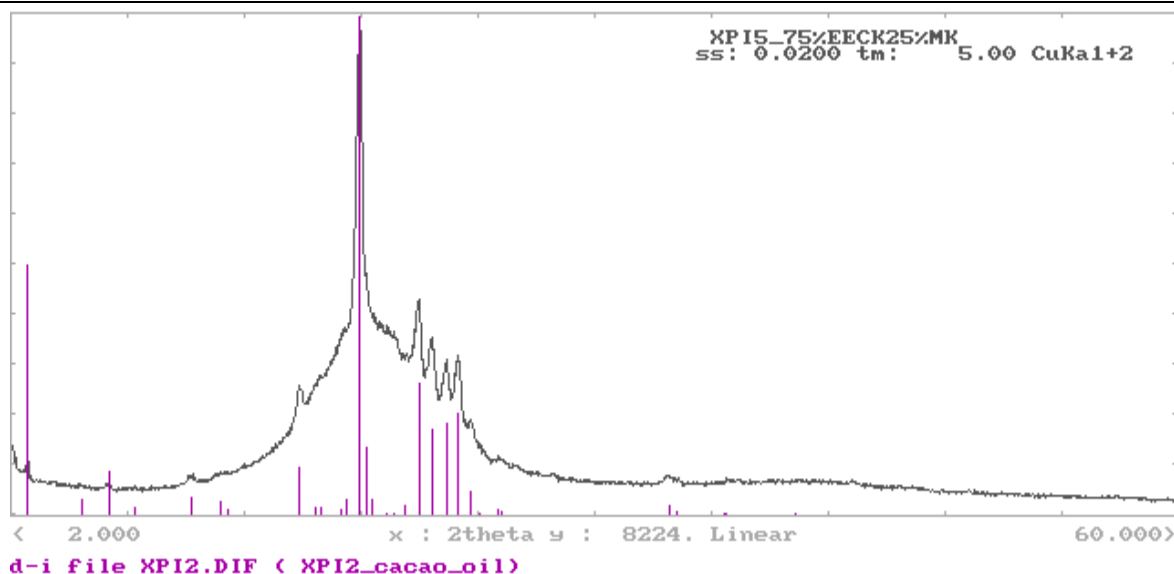


Рисунок 5 – Рентгенограма суміші етилстеарату та какао-масла у співвідношенні 25:75

Висока вірогідність цього припущення підтверджується даними ядерно-магнітного резонансу (ЯМР). За допомогою ЯМР визначили масову частку твердих ефірів в етилстеараті та масову частку твердих жирів в какао-маслі при 20°C. В етилстеараті вміст твердих ефірів складає 94,3 %, а в какао-маслі вміст твердого жиру на рівні 61,6 %, тобто значна частина (близько 40%) какао-масла знаходиться в рідкому стані.

На рисунку 6 наведені калориметричні криві процесу плавлення етилстеарату, какао-масла та їх сумішей. З рисунку 6 видно, що кількість теплоти, яка поглинається при розплаві етилстеарату значно більша, ніж при розплаві какао-масла.

Це підтверджує те, що етилстеарат повністю є кристалічною речовиною, тобто не містить аморфної частини, а ацилгліцерини какао-масла в значній кількості знаходяться у вигляді неупорядкованої (аморфної) структури. Тому, на рисунку 6 спостерігається лінійна залежність величини теплового потоку від вмісту етилстеарату в какао-маслі при розплаві їх сумішей.

В таблиці 2 наведені результати диференційно-скануючої калориметрії щодо показників температури плавлення для сумішей з різним вмістом етилстеарату в какао-маслі.

Дані таблиці 2 свідчать про те, що етилстеарат не утворює з какао-маслом евтектичних сумішей.

Таблиця 2

Показники процесу плавлення етилстеарату, какао-масла та їх сумішей при швидкості 7 град/хв.

Вміст етилстеарату в какао-маслі, %	Початок	Максимум	Кінець
	°C	°C	°C
0	13,33	20,86	32,23
5	11,7	20,59	30,14
25	15,76	21,15	26,54
50	24,89	26,74	29,19
75	26,51	30,78	35,54
100	30,6	34,54	41,99

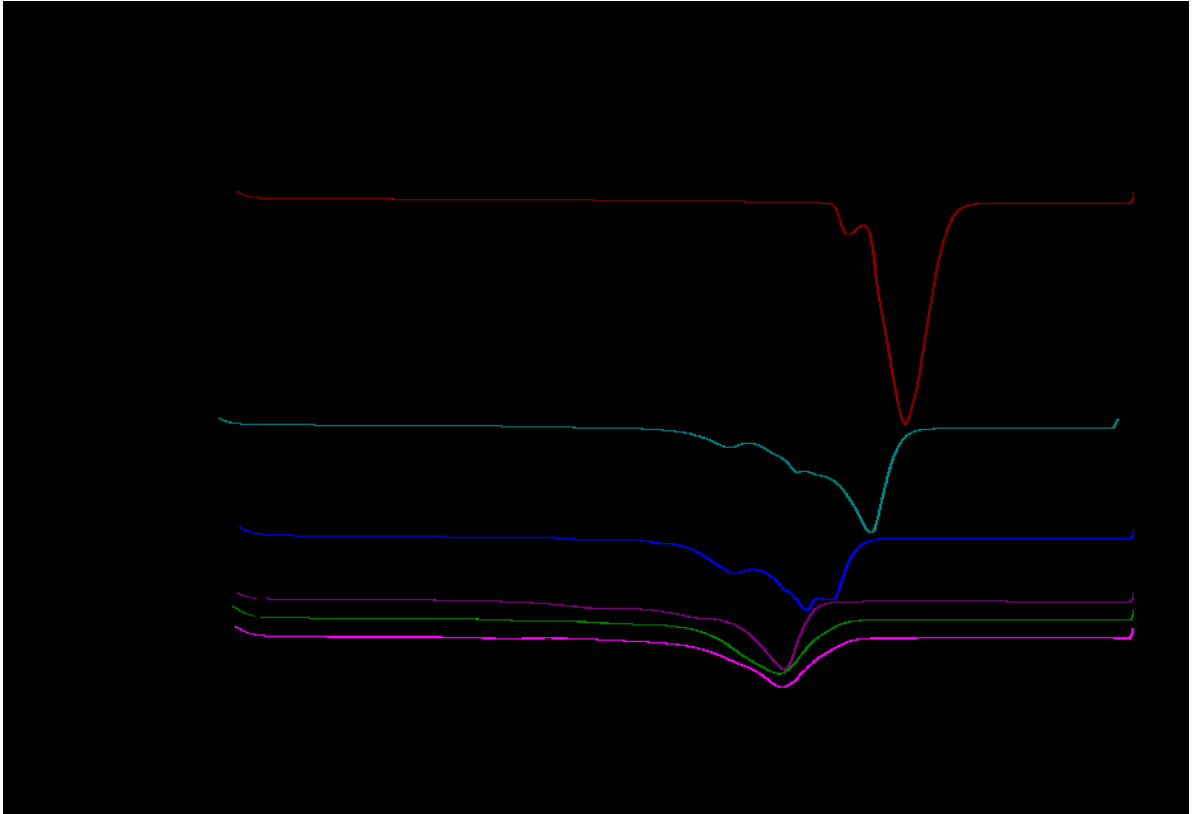


Рисунок 6 – Процес плавлення, при швидкості 7 град/хв, для етилстеарату, какао-масла та їх сумішей:
 1 – 100% МК, 2 – 5 % ЕС:95% МК, 3 – 25% ЕС:75% МК,
 4 – 50% ЕС:50% МК, 5 – 75% ЕС:25% МК, 6 – 100% ЕС.

Еспериментально підтверджено аномальне зростання в'язкості какао-масла в передкристалізаційний період, тобто при температурах 29 – 36 °С. Це можна пояснити утворенням високої концентрації так званих асоціатів, що «блокують» рух молекул у розплаві [25]. В цих же умовах етилстеарат не проявляє таких властивостей.

Молекулярні кристали застигають в нестабільній модифікації, тому що, мабуть, не вистачає енергії, щоб перебудувати асоціати в стабільну модифікацію [25]. Якщо в какао-масло додати «зародки» майбутніх стабільних кристалів, то воно відразу кристалізується в стабільній модифікації.

Це підтверджується рентгенограмами, що зображені на рисунках 7 і 8.

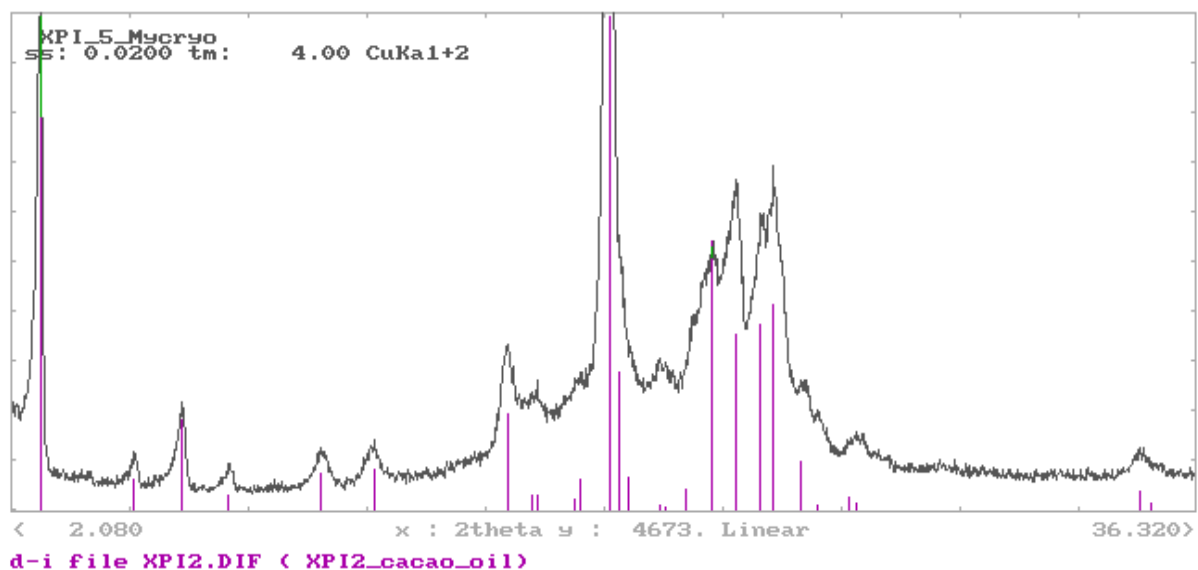


Рисунок 7 – Рентгенограма какао-масла «Мусуо»

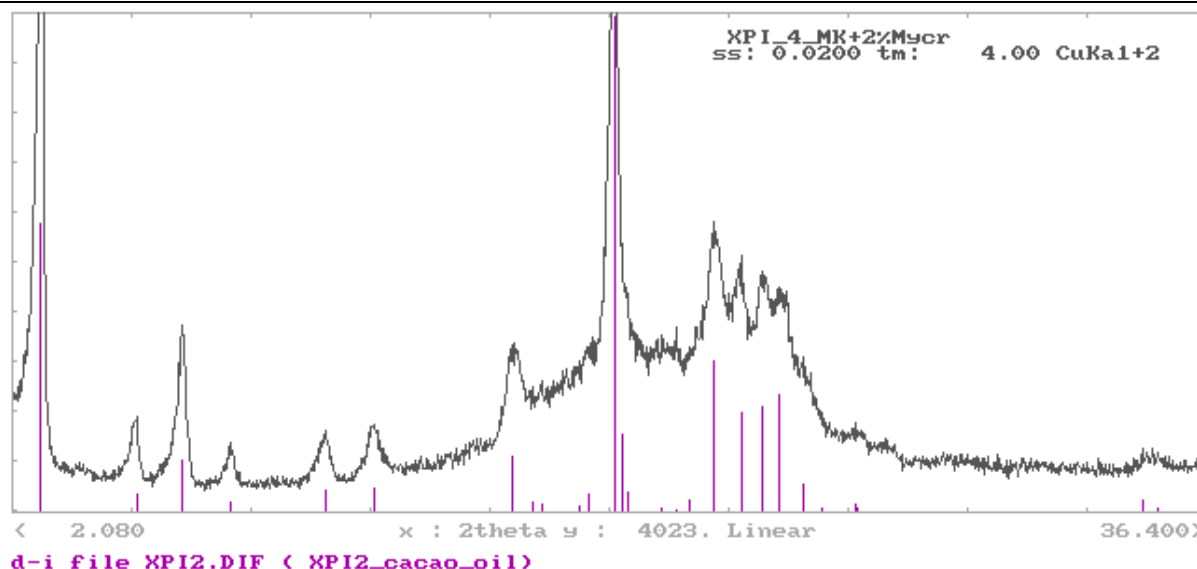


Рисунок 8 – Рентгенограма какао-масла з додаванням 2 % продукту «Мусеро»

На рисунку 9 зображено залежність кінематичної в'язкості етилстеарату (ЕС) та масла-какао (МК) від температури.

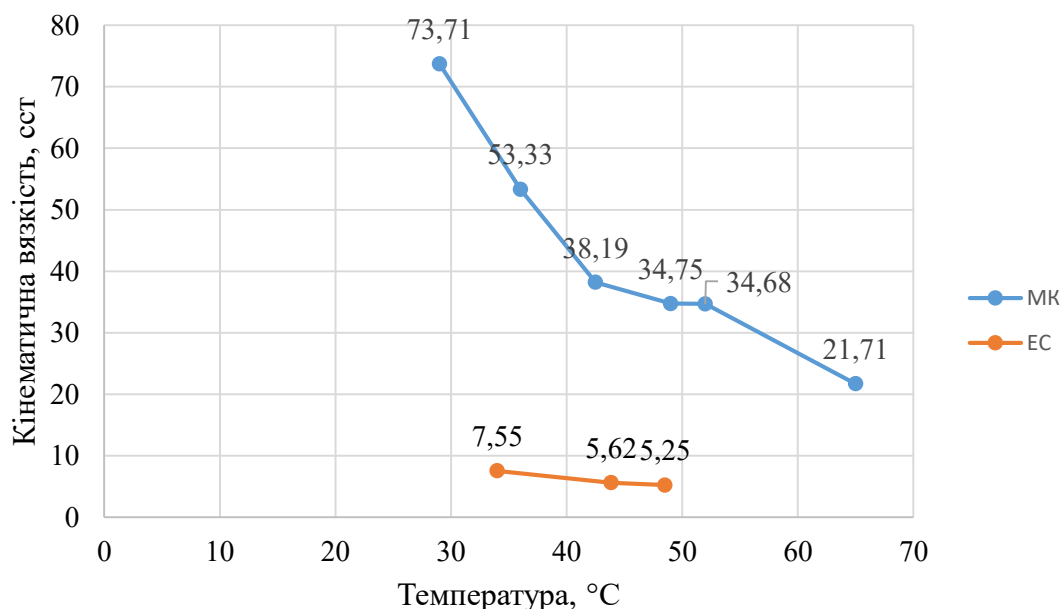


Рисунок 9 – Залежність кінематичної в'язкості етилстеарату та какао-масла від температури

В'язкість неасоційованих рідин залежить від їх питомого об'єму (точніше «вільного» об'єму, у відповідності з рівнянням О.І. Бачинського) [25]. «Вільний» об'єм етилстеарату значно більше за «вільний» об'єм ацилгліцеринів, що входять до складу какао-масла, тому в'язкість при 40 °C етилстеарату приблизно в 10 разів менша, ніж в'язкість какао-масла. Це створює сприятливі умови для кристалізації етилстеарату в стабільній модифікації.

Оскільки, какао-масло є багатокомпонентною сумішшю різних ацилгліцеринів та кристалізується

в шести поліморфних модифікаціях, то при швидкому охолодженні спочатку кристалізується більш низькоплавка модифікація, що обумовлює підвищення в'язкості системи і унеможливорює кристалізацію какао-масла в β_2 (V) – стабільній модифікації. Для зниження в'язкості системи, пропонується додавати етилстеарт, що дозволяє при швидкому охолодженні сформувати стабільну модифікацію.

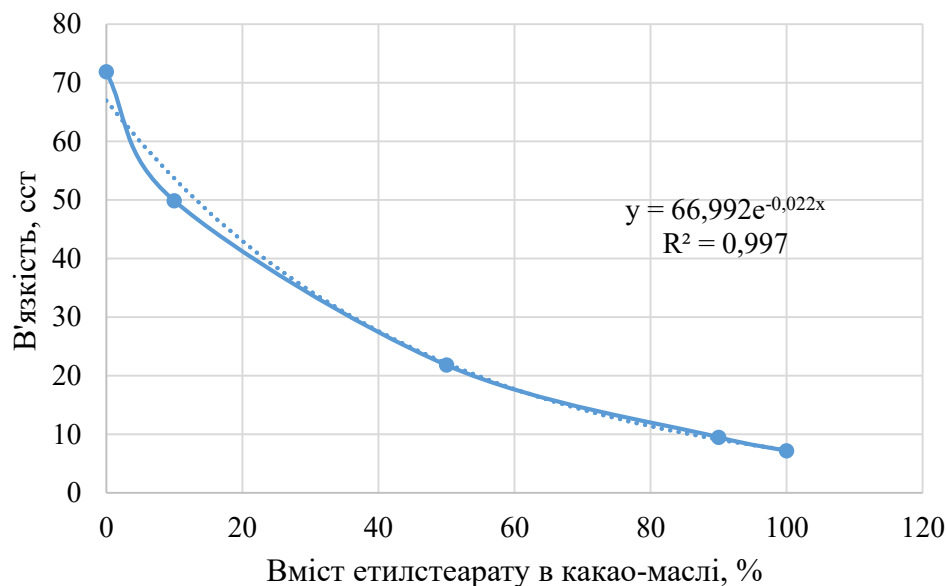


Рисунок 10 – Залежність в'язкості від вмісту етилстеарату в какао-маслі

Таблиця 3

Показники кінематичної в'язкості в залежності від вмісту етилстеарату в какао-маслі	
В'язкість суміші етилстеарат – какао-масло, сСт	Вміст етилстеарату в какао-маслі, %
71,84	0
49,86	10
21,79	50
9,46	90
7,16	100

Проведені виміри кінематичної в'язкості при температурі 30°C какао-масла, етилстеарату та їх сумішей. Показники в'язкості та вмісту етилстеарату в какао-маслі представлені в таблиці 3. З залежності (рисунок 9) встановлено, що етилстеарат можна застосовувати для зниження в'язкості какао-масла. Непрямим доказом цього є виготовлення шоколадних виробів на основі етилстеарату. Зразки гіркої шоколадної маси виготовлені без процесу темперування з вмістом етилстеарату 33% від загальної кількості какао-масла, що міститься у какао-продуктах (або 16% за рецептурою, замість какао-масла), при зберіганні більше 6 місяців не мають жирового «посивіння» на відміну від шоколадних зразків виготовлених при тих же умовах але з використанням какао-масла.

Висновки.

Доведено, що суміш етилстеарату та какао-масла не утворює твердих розчинів при будь-якій концентрації.

Визначено, що кількість аморфної складової в суміші какао-масла та етилстеарату за кімнатної температури збільшується з підвищенням долі етилстеарату і досягає максимуму при співвідношенні 1:1, тобто етилстеарат за відповідних умов переходить в аморфний стан. Це можна пояснити здатністю какао-масла і етилстеарату змішуватися у будь-яких співвідношеннях при будь-яких температурах.

Визначено, що при будь-якому співвідношенні какао-масла і етилстеарату в суміші утворюються кристалічні структури притаманні одному із компонентів.

Пропонується наступний підхід управління процесом кристалізації какао-масла – використання в якості центрів кристалізації («зародків») міцел поверхнево-активних речовин, що за своєю структурою і температурою формування відповідають структурі і температурі плавлення стабільної β_2 (V) модифікації какао-масла.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гаврюшенко Е.А., Гладкий Ф.Ф. Технология модифицирования жиров, обеспечивающая эффективное их использование в составе пищевых продуктов. Материалы XIII международной конференции «Масложировая отрасль: технологии и рынок, 15 – 16 октября 2020 г.». – Киев. С. 18 – 22.
2. Rousseau D. The microstructure of chocolate. Understanding and Controlling the Microstructure of Complex Foods. 2007. P. 648–690. doi:10.1533/9781845693671.4.648
3. Lonchamp P., Hartel R. W. Fat bloom in chocolate and compound coatings. European Journal of Lipid Science and Technology. 2004. Vol. 106. P. 241–274. doi:10.1002/ejlt.200400938
4. Wille R. L., Lutton E. S. Polymorphism of cocoa butter. Journal of the American Oil Chemists' Society. 1966. Vol. 43. N.8. P. 491–496. doi:10.1007/bf02641273
5. Дорохович А.М. Технология шоколаду: Навч. Посіб. – К.: НУХТ. 2014. 367 с.
6. Servais C., Ranc H., Roberts I.D. Determination of chocolate viscosity. Journal of Texture Studies.

2003. Vol. 34. N.5-6. P. 467–497. doi:10.1111/j.1745-4603.2003.tb01077.x

7. Zeng, Y. Impf- und Scherkristallisation von Schokoladen. Diss. ETH Nr. 13798, ETH Zurich. 2000.

8. Павлова И.В. Теоретические и экспериментальные основы развития технологии производства заменителей масла-какао: автореф. Дис. На соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.18.06 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов»/ Павлова Ирина Владиславовна. – СПб. 2000. 55 с.

9. Metin S., Hartel R. W. Crystallization of Fats and Oils. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 2005.

10. Reade M.G. Cooling processes. The natural rate of solidification of chocolate. Manuf. Confect. 1985. Vol.65. N. 1. P. 59-65.

11. Whitefield R. Chocolate moulding plants. Part IV. Confect. Manuf and Market. 1991. Vol. 28. N. 3. P. 23-25.

12. Bricknell J., Hartel R. W. Relation of fat bloom in chocolate to polymorphic transition of cocoa butter. Journal of American Oil Chemists' Society. 1998. N. 11. P. 1609-1615.

13. Laustsen K. The nature of fat bloom in molbed compound coatings. Manuf Confect. 1991. Vol. 71. N.5. P. 137-144.

14. Stephen T., Beckett B. Sc. Industrial Chocolate Manufacture and Use, Fourth Edition. 2008. P.688.

15. Dahlenborg H., Millqvist-Fureby A., Bergentahl B., Kalnin D. J. E. (2010). Investigation of Chocolate Surfaces Using Profilometry and Low Vacuum Scanning Electron Microscopy. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2010. Vol. 88. N. 6. P. 773–783. doi:10.1007/s11746-010-1721-8

16. Luccas V., Bonomi É. C., Kieckbusch T. G. Caracterização comparativa entre chocolates ao leite formulados com gordura de leite anidra e com estearina de gordura de leite. Brazilian Journal of Food Technology. 2014. Vol. 17. N.2. P. 130–138. doi:10.1590/bjft.2014.020

17. Sonwai S., Rousseau D. Controlling fat bloom formation in chocolate – Impact of milk fat on microstructure and fat phase crystallisation. Food Chemistry. 2010. Vol. 119. N.1. P. 286–297. doi:10.1016/j.foodchem.2009.06.031

18. Pontillon J., Cacao et chocolat: production, utilisation, caractéristiques. Lavoisier, Paris (France).1998.

19. Nebesny E., Żyżelewicz D. (2004). Effect of lecithin concentration on properties of sucrose-free chocolate masses sweetened with isomalt. European Food Research and Technology. 2004. Vol. 220 N.2. P. 131–135. doi:10.1007/s00217-004-1009-z

20. Masuchi M. H., Grimaldi R., Kieckbusch T. G. Effects of Sorbitan Monostearate and Monooleate on the Crystallization and Consistency Behaviors of Cocoa Butter. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2014. Vol. 91. N.7. P. 1111–1120. doi:10.1007/s11746-014-2469-3

21. Sonwai S., Podchong P., Rousseau D. Crystallization kinetics of cocoa butter in the presence of sorbitan esters. Food Chemistry. 2017. Vol. 214. P. 497–506. doi:10.1016/j.foodchem.2016.07.092

22. Buscato M. H. M., Hara L. M., Bonomi É. C., Calligaris G. de A., Cardoso, L. P., Grimaldi R., Kieckbusch T. G. Delaying fat bloom formation in dark chocolate by adding sorbitan monostearate or cocoa butter stearin. Food Chemistry. 2018. Vol. 256. P. 390–396. doi:10.1016/j.foodchem.2018.02.127

23. Гаврюшенко, К. О., Гладкий, Ф. Ф. (2020). Пат. № 143173 UA. Спосіб одержання етилових ефірів жирних кислот. МПК C07C 67/03, C11C 3/10. № у 2020 01327. Опубл.: 10.07.2020. Бюл. № 13.

24. Дифференциально сканирующие калориметры QDSC. Руководство пользователя QDSC. 57 с.

25. Уббелоде А. Плавление и кристаллическая структура. Издательство «Мир», Москва. 1969. 420с.

MEDICAL SCIENCES

POWERFUL CO₂ - THE LASER FOR RECEPTION TERAHERTZ RADIATIONS

Vasiltsov V.,

Professor

Galushkin M.,

Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Panchenko V.,

academician

Semenov A.,

Researcher

Egorov E.,

engineer

Solovev A.

engineer

Institute on Laser and Information Technologies of Russian Academy of Sciences — Branch of Federal Scientific Research Center "Crystallography and Photonics" of Russian Academy of Sciences

МОЩНЫЙ СО₂-ЛАЗЕРОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Васильцов В.В.,

Профессор

Галушкин М.Г.,

кандидат физ.-мат. наук

Панченко В.Я.,

академик

Семенов А.Н.,

и.с.

Егоров Э.Н.,

инженер

Соловьев А.В.

инженер

Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН — филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук»

DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-20-25](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-20-25)

Abstract

Last decade development of CO₂ - lasers in the world went major rates. There were models technological CO₂-lasers, different compactness, reliability and high performances. As it is known, such lasers last years are used for an optical rating of the molecular lasers generating in long-range infrared region, so-called FIR-lasers.

Application of such lasers is related to medicine, examination of various organic substances, for example, the oil analysis, high-precision laser detection and ranging and fight against terrorism that became actual and for our country.

In the report observational are given and theoretical effect, and also the design of making domestic powerful portable terahertz systems.

At frequency tuning powerful the single-mode waveguide laser of models ТЛ-300 and ТЛ-1000 by means of a diffraction grating record power (to 300 w) frequency tuning on excitation lines methanol, ammonia is gained, etc.

Аннотация

В последнее десятилетие развитие техники СО₂ – лазеров в мире шло большими темпами. Появились модели технологических СО₂ лазеров, отличающиеся компактностью, надежностью и высокими эксплуатационными характеристиками. Как известно, такие лазеры в последние годы используются для оптической накачки молекулярных лазеров, генерирующих в дальней инфракрасной области, так называемые FIR-lasers.

Применение таких лазеров связано с медициной, исследованием различных органических веществ, например анализ нефти, высокоточная лазерная локация и борьбы с терроризмом, что стало актуальным и для нашей страны.

В статье приводятся экспериментальные и теоретические результаты, а также проект создания отечественной мощной мобильной терагерцовой системы.

При перестройке мощного волноводного одномодового волноводного лазера модели ТЛ-300 и ТЛ-1000 с помощью дифракционной решетки получена рекордная мощность (до 300 Вт) перестройки на линиях возбуждения метанола, аммиака и др.

Keywords: CO₂ – lasers, FIR-lasers, diffraction grating

Ключевые слова: технологические CO₂ –лазеры, FIR-лазеры, дифракционная решетка

1. Введение.

Разработка лазерного источника для оптической накачки молекулярных лазеров, генерирующих в дальнем инфракрасном диапазоне (FIR-lasers), актуальна с целью поиска новых технологий генерации, модуляции, поглощения и передачи энергии электромагнитных колебаний в диапазоне частот до 405 ТГц и отдельных участков частот в диапазоне до 1000 ТГц.

В последнее десятилетие развитие техники CO₂ – лазеров в мире шло большими темпами. Появились модели технологических CO₂ лазеров, отличающиеся компактностью, надежностью и высокими эксплуатационными характеристиками. Как известно, такие лазеры в последние годы используются для оптической накачки молекулярных лазеров, генерирующих в дальней инфракрасной области, так называемые FIR-lasers. Так, например, корпорации Coherent-DEOS и Institute of Standards and Technology-NIST (США) в последние годы ведут разработку лабораторных источников излучения в дальней инфракрасной области 70,119,123, 570,724μm. Эти линии используются для спектроскопических экспериментов с высоким разрешением в целях распространения излучения в пространстве для космических программ, ведущихся NASA (США).

Для оптической накачки лазеров FIR как правило используются CO₂ –лазеры, генерирующие излучение в области 9-11 μm с применением отражателей в резонаторе в виде дифракционных решеток. Средняя мощность излучения таких лазеров не превышает 100 Вт. При этом, выходная мощность излучения в дальнем инфракрасном диапазоне составляет (при накачке 120 Вт) около 30 мВт при частоте 2.5 ТГц. Возможна генерация и на частотах 1-5 ТГц. Рабочими средами FIR-lasers, например, могут являться изотопы метанола (CD₃OH, ¹³CH₃OH, ¹³CD₃OD, ¹³CD₂OD, CHD₂OH, CH₂DOH, CH₃OD, ¹³CD₃OH, гидразин (N₂H₄) с длинами волн в области от 26,3 до 183.3 μm

Такие лабораторные устройства должны быть компактными, конструкция их, как правило, должна быть моноблочной, массогабаритные показатели минимальными. Кроме того, источник оптической

накачки должен быть конструктивно совмещен с генератором излучения, что и реализовано в лабораторных образцах фирмы Coherent-DEOS.

Перспективность таких проектов базируется на совмещении высокоразвитых технологий самих терагерцовых устройств и современных волноводных CO₂-лазеров накачки, которые характеризуются компактностью, надёжностью, большим ресурсом работы и относительно большой мощностью излучения. Причём имеется возможность повышения мощности FIR-lasers, используя систему прокачки газа для охлаждения активной среды.

В ИППИТ РАН много лет разрабатывает технологические волноводные CO₂-лазеры с высоким качеством излучения и высокими технико-экономическими показателями (компактность, низкие эксплуатационные расходы, высокий КПД (10%), применяемые в области лазерных технологий прецизионной резки и медицине. Поэтому имеется большой технологический задел для создания оптической накачки лазеров дальней инфракрасной области. Разработки ИППИТ РАН в этой области защищены соответствующими патентами.

Для достижения высоких выходных параметров FIR-lasers требуется, прежде всего, увеличение мощности оптической накачки. В настоящей работе предполагается разработка источника накачки мощностью до 0,5 кВт на базе созданных в ИППИТ РАН современных волноводных CO₂ - лазеров. Возникающей при этом основной научно-технической задачей является формирование перестраиваемого спектра генерации волноводных CO₂ лазеров, согласующегося со спектральными линиями поглощения активной среды FIR-laser. Также к важной проблеме относится создание одномодового по частоте (с одной волноводной модой) мощного источника накачки.

Следует отметить, что российские ученые имеют приоритет в оптической накачке для получения терагерцового излучения [1-3].

2. Измерительный комплекс.

На рис.1 представлена схема измерительного комплекса.

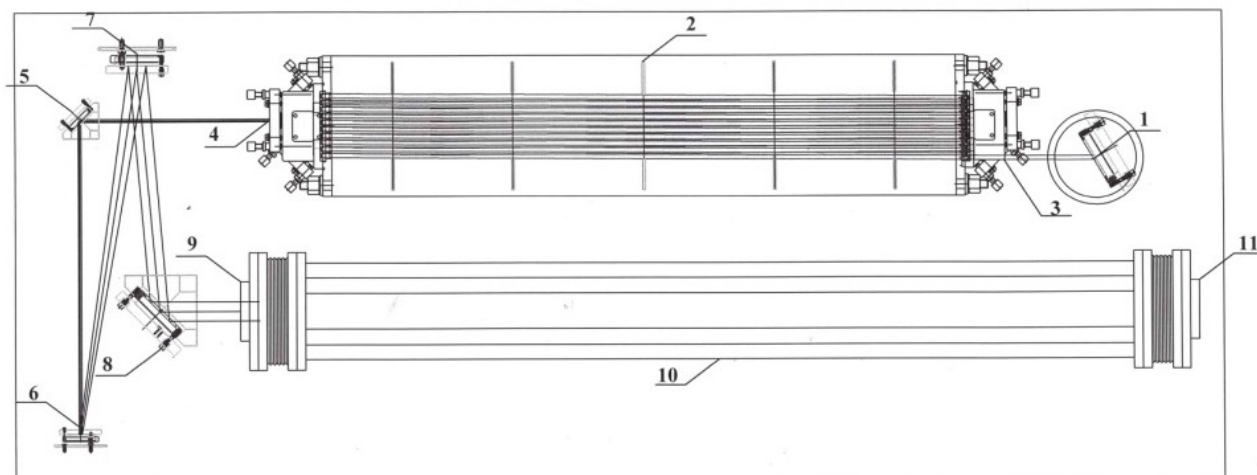


Рис.1 Схема эксперимента

1. Дифракционная решетка , 2- Излучатель CO_2 -лазера ТЛ-300 с воздушным охлаждением, ТЛ-1000 с жидкостным охлаждением
 3. Просветленное окно ZnSe , 4- выходное окно ZnSe , 5-поворотное зеркало, 6- Плоско-выпуклое зеркало телескопа, 7- Плоско-вогнутое зеркало телескопа, 8- Поворотное зеркало , 9- Входное окно ZnSe , 10- Кювета терагерцовая , 11- Выходное окно SiO_2

1. CO_2 -лазерный источник оптической накачки.

В качестве источника оптической накачки должен быть использован технологический волновод-

ный лазер CO_2 –лазер с диффузионным охлаждением, возбуждаемый разрядом переменного тока звуковой частоты модели ТЛ-300 [4]

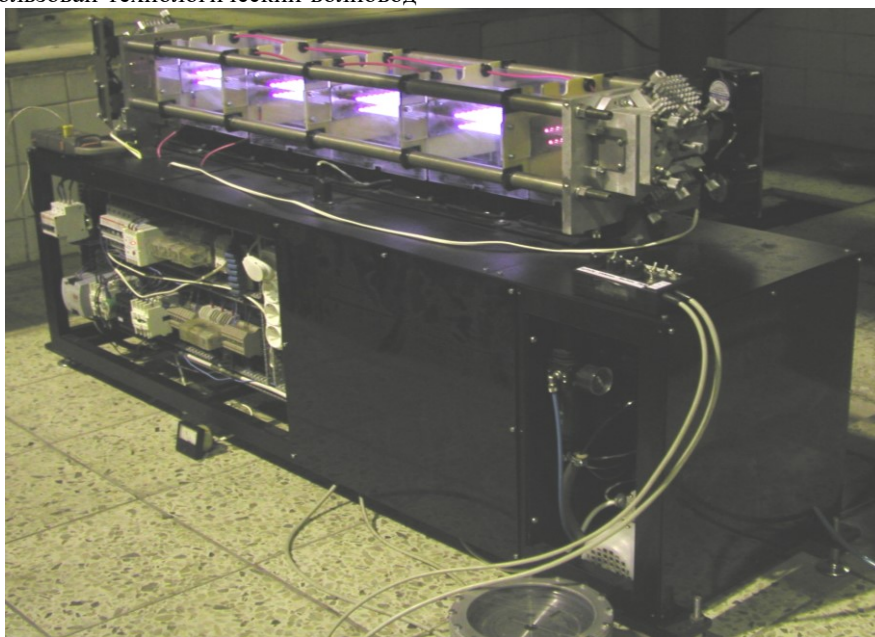


Рис.2. Внешний вид лазера модели ТЛ-300 (без защитного кожуха)

Для перестройки по длинам волн излучения применяется узел крепления дифракционной решетки с шаговым двигателем на основе блока фирмы Vicon-Standa.

Технические характеристики лазеров ТЛ-300 и ТЛ-1000 приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметр/модель	ТЛ-1000	ТЛ-300
Длина волны излучения, мкм	10.6	10.6
Средняя мощность, Вт	1000	320
Форсированная мощность	1200	500
Импульсно-период, кГц	0.2-2.5	0.2-2.5
Стабильность мощности, %	<2	<2
Апертура, мм	7	7
Расходимость изл., мрад	20(с телескопом)	20(с телескопом)
Расход газовой смеси, н.л/ч	0.8	0.5
Расход воды, м ³ /ч	1.0	Нет
Технический КПД, %	10	10
Габариты, м	0.8x0.8x2.2	0.6x0.6x1.5
Масса, кг	400	220
охлаждение	жидкостное	воздух

За счет волноводного режима генерации легко осуществляется и поддерживается одномодовый режим генерации с высокой долговременной стабильностью. Распределение плотности мощности

излучения модели ТЛ-300 приведено на рис.3. Видно, что генерируется практически чистая первая волноводная мода.

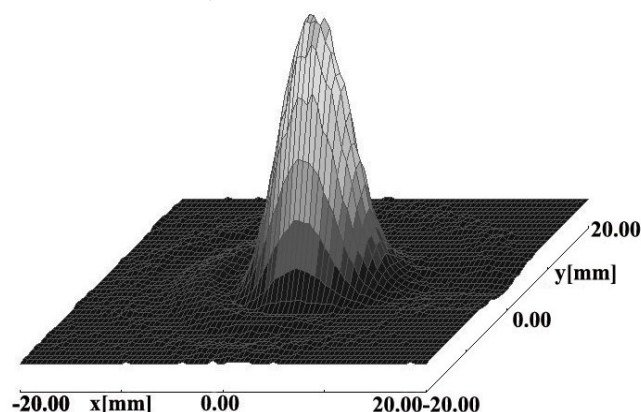


Рис.3. Распределение плотности мощности излучения (модель ТЛ-300)

Расходимость по уровню мощности 0.86 = 1.57 мрад

Расходимость по уровню мощности 0.9 = 1.67 мрад

4. Кювета терагерцового лазера.

Кювета выполнена из кварцевой трубы диаметром 80мм. По оси устанавливается вкладыш из металла диаметром 20-30мм. Резонатор выполнен на инваровых штангах с юстировочными узлами и

входным окном из просветленного ZnSe и выходным из кристаллического кварца.

Наполнение кюветы необходимым газом осуществляется системой откачки и напуска.



Фотография кюветы терагерцового излучателя (рис 4.)

5. Полученные результаты.

В таблице 2 приведены данные по длинам волн излучения оптической накачки и генерации в терагерцовом диапазоне для различных сред.

Таблица 2.

Длины волн накачки для получения терагерцового излучения

$\lambda(\mu\text{m})$ FIR	FIR molecule	CO ₂ pump line	$\lambda(\mu\text{m})$ CO ₂
96.5	CH ₃ OH (метанол)	9R(10)	9.33
118.8	CH ₃ OH (метанол)	9P(36)	9.694
118.8	NH ₃ (Аммиак)	9P(36)	9.694
184.3	CH ₂ F ₂ (Фреон 32)	9R(32)	9.21
432.6	HCOOH (МУР.кислота)	9R(20)	9.27
513	HCOOH (МУР.кислота)	9R(28)	9.23

5. Результаты экспериментов



Рис.5 Диаграмма 1

Получена перестройка на линиях: 9P18-9,54. 9P20-9,56. 10R20-10,24. 10P20-10,60 (диаграмма 1).

Спектроанализатор CO₂ –«Spectrum analyzer» фирмы США Optics- industrial Corporation. Измеритель мощности излучения «Ophir» (Израиль)

Примечание. В штатном режиме генерации излучателя (глухим зеркалом вместо дифракционной

решетки) при вкладе 1.8 кВт мощности излучения составили 120 Вт .

Получена генерация терагерцового излучения на фреоне 50 мВт, на метаноле 35 мВт .

При использовании лазера ТЛ-1000 получена рекордная накачка мощностью до 300 Вт. Данные приведены в диаграмме 2.

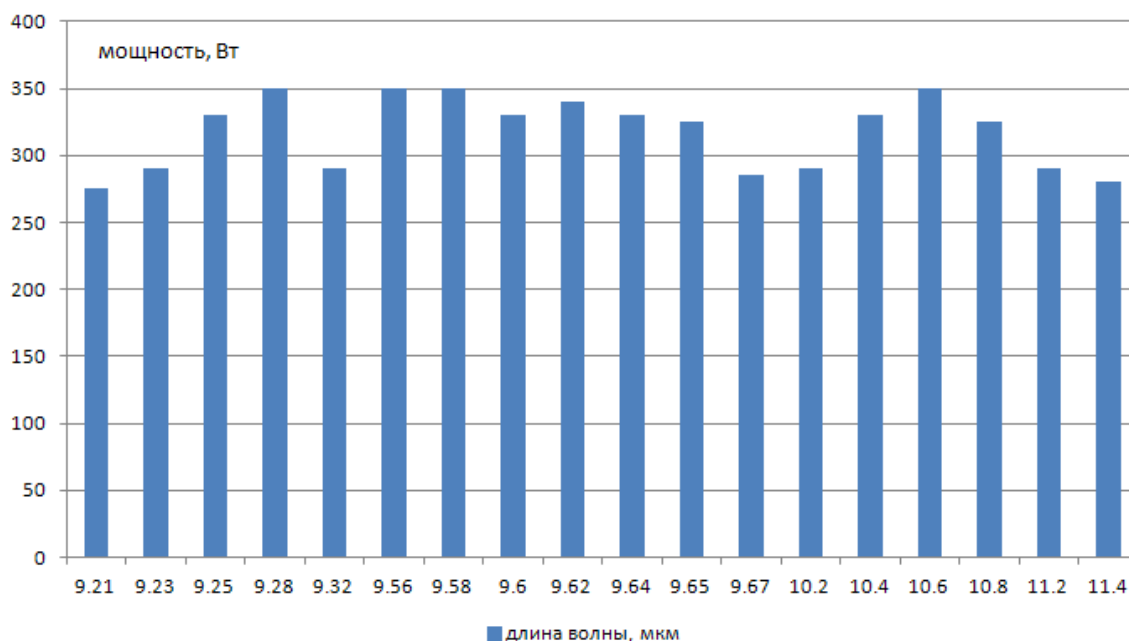


Рис.6 Диаграмма 2

6. Проект терагерцового излучателя

Практические применения излучения терагерцового диапазона в определенных случаях, например борьба с терроризмом, требует создания мобильной и достаточно компактной системы,

которая может быть расположена на миниавтомобиле.

Проект такой системы разработан и может быть реализован.

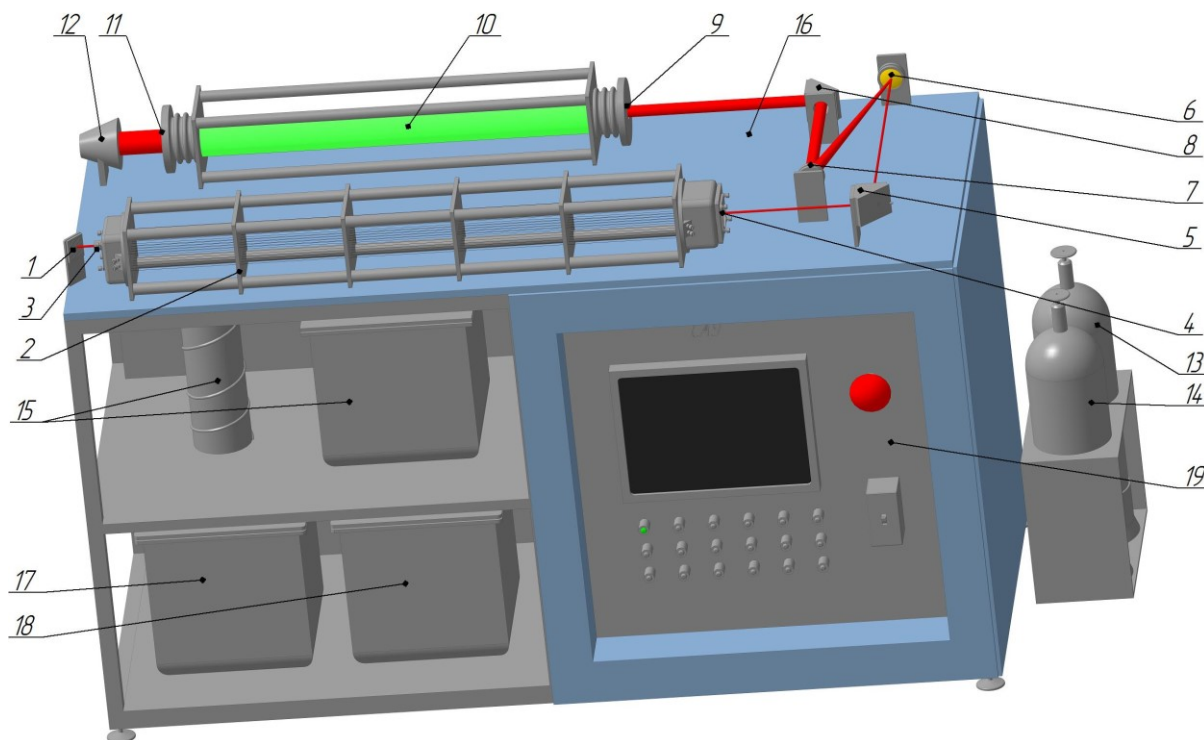


Рис. 7. Дизайн-проект терагерцовой мобильной системы.

1-Дифракционная решетка, 2-излучатель CO_2 -лазера ТЛ300, 3-просветленное окно ZnSe , 4-юстировочный узел выходного окна, 5,8-поворотные зеркала, 6, 7-зеркала телескопа, 9-входное окно ZnSe , 10-кювета терагерцовая, 11-выходное окно SiO_2 , 12-измеритель терагерцового излучения, 13,14-баллоны, 15-источник питания ТЛ300, 16-плита, 17-система газонапуска ТЛ300, 18-система газонапуска кюветы, 19-система автоматического управления.

Излучение одномодового лазера ТЛ-300 (4), выведенного на управляемую мощность от 150 до 300 Вт, в дальнейшем до 500 Вт подается через выходное окно (8) и поворотную призму (5) на расширяющий телескоп (6-7) с 7 мм до 45-50мм. Лазер с помощью узла дифракционной решетки перестраивается по длинам волн в диапазоне 9.1-10.6 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. В.В.Апполонов, А.И.Грибенюков, В.В.Короткова, А.Г.Суздальцев, Ю.А.Шакир Квантовая электроника т.23, №:, с.483, (1996).
2. А.С.Ахманов, А.А.Антелуц, А.В.Балакин, М.М.Назаров, И.А.Ожередов, Д.А.Сапожников, В.И.Соколов, Е.В.Хайдуков, А.П.Шкуринов, В.Я.Панченко Терагерцовая оптоэлектроника и её применение с. 758-785 в кн. «Современные ла-

зерно-информационные технологии» под ред. академика В.Я.Панченко и профессора Ф.В.Лебедева М: Интерконтакт Наука, 2004, 950 с.

3. В.В. Васильцов, М.Г. Галушкин, В.Я. Панченко. Оптическая накачка мощным CO_2 - лазером для получения терагерцового излучения.// Сборник научных трудов. «Лазеры в науке, технике, медицине». Том 28, с.8-13, Москва, 2017.

4. В.В.Васильцов, М.Г.Галушкин, В.Ф.Лебедев, В.Я.Панченко, В.П.Якунин Перспективы развития мощных технологических волноводных CO_2 -лазеров с высоким качеством излучения, Современные лазерно-информационные технологии, Коллективная монография под редакцией академика В.Я.Панченко и профессора Ф.В.Лебедева, М.:Интерконтакт Наука,2015, 959 с. стр. 100-118

INFLUENCE OF DERMATOVENEREOLICAL DISEASES ON THE REPRODUCTIVE POTENTIAL OF THE POPULATION

Damchari S.,

The medical faculty. Specialty "Medical art"

Kuban Medical Institute, Krasnodar

Ishchenko O.

Associate Professor, Kuban Medical Institute, Krasnodar

ВЛИЯНИЕ ДЕРМАТОВЕНЕРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА РЕПРОДУКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАСЕЛЕНИЯ

Дамчари С.А.,

Лечебный факультет. Спец. «Лечебное дело»

НОЧУ ВО «Кубанский Медицинский институт» г. Краснодар

Научный руководитель:

Ищенко О.Ю.

Доцент, НОЧУ ВО «Кубанский Медицинский институт» г. Краснодар

DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-26-29](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-26-29)

Abstract

The study of the processes affecting the reproductive potential of the population in the Krasnodar region is an important link in understanding the need for measures that can improve the demographic situation in the region.

Аннотация

Изучение процессов, влияющих на репродуктивный потенциал населения в Краснодарском крае является важным звеном в понимании необходимости мер, способных улучшить демографическую ситуацию в крае.

Keywords: health, reproduction, sexually transmitted diseases, reproductive health, birth rate, prophylactic measures, decrease.

Ключевые слова: репродуктивный потенциал населения, репродуктивное здоровье, инфекции, передающиеся половым путём, рождаемость, профилактические мероприятия, снижение.

Оценка факторов, обуславливающих демографические процессы, определение последствий для будущего развития населения имеют особую актуальность. В своих посланиях Федеральному собранию Президент России каждый год отмечает, что сохранение народа — это ключевая задача для всей страны, требующая первоочередного решения. Тенденция к сокращению численности населения РФ за последние десятилетия приводит к необходимости принимать меры, способствующие увеличению репродуктивного потенциала населения, который определяется как *максимально возможный при определённых условиях уровень рождаемости* [1]. Одним из факторов, определяющих РПН, является *бесплодие* (неспособность к зачатию и оплодотворению женщин и мужчин) и *бездетность* как следствие мертворождений или смертности детей; снижает РПН также рождение детей с патологиями.

Понятие *Репродуктивный потенциал населения* тесно связано с понятием о *репродуктивном здоровье человека*, под которым понимается не только отсутствие заболеваний репродуктивной системы, но и состояние полного физического и социального благополучия, возможность женщины безопасно перенести беременность и роды и возможность родить здорового ребёнка. В свою очередь, это означает право на информацию и до-

ступ к эффективным и безопасным методам лечения и профилактики расстройств репродуктивной системы, в том числе и заболеваний дерматовенерологического профиля, поскольку они являются ведущим предотвратимым фактором, влекущим нарушения репродуктивного здоровья населения.

В современной классификации понятие *венерические заболевания* отсутствует. Впервые это понятие было применено в 1527 году к заболеваниям, возникающим, по наблюдениям, после половой близости. В последние десятилетия к ним относили сифилис, мягкий шанкр, гонорею, хламидийную лимфогранулёму. Для этих заболеваний половой путь передачи является основным. В XX веке выяснилось, что такой путь передачи характерен для более чем 20 возбудителей болезней. (К ним относятся, кроме вышеперечисленных, герпес простой, трихомоноз, урогенитальные инфекции, остроконечные кондиломы, первичный туберкулёз кожи, контагиозный моллюск, микозы, чесотка, тропические трепанематозы и т.д.) В связи с этим была определена группа заболеваний, передающихся половым путём включающая также именовавшиеся ранее венерическими. Согласно международной классификации эта группа называется *Инфекции, передающиеся преимущественно половым путём* (ИППП). Тем не менее,

в нашей отечественной медицине сохраняется такая специальность, как «кожные и венерические болезни» [2, стр. 352].

Наибольший ущерб репродуктивному потенциалу населения наносят сифилис, гонорея, урогенитальный хламидиоз и трихомоноз. В отношении этих заболеваний министерством здравоохранения Краснодарского края ведётся постоянная работа по мониторингу и выявлению вызванных ими нарушений на разных стадиях. Так, по данным

статистических материалов, собранных за период с 2016 по 2019 годы (сравни с Таблицей 2), несмотря на тенденцию к сокращению по всей территории РФ с 2010-го года числа кожно-венерологических диспансеров, централизованных лабораторных подразделений и количества врачей кожно-венерологического профиля на 100 000 населения, Краснодарский край за 2016-2019 гг. выходит на стабильные показатели (см. Таблицу 1).

Таблица 1

Обеспеченность Краснодарского края лабораторными и лечебно-диагностическими подразделениями кожно-венерологического профиля [4], [5]

	2016	2017	2018	2019
Число централизованных лабораторных подразделений в КК: клинико-диагностических / микробиологических	253/36	257/32	264/32	256/32
Число кожновенерологических диспансеров в КК	4	4	4	4
Обеспеченность врачами дерматовенерологического профиля на 100.000 населения в КК	0,58	0,59	0,56	0,54

Самые высокие показатели заболеваемости, на душу населения из четырёх основных ИППП остаются у трихомоноза и хламидийной инфекции, хотя количество случаев заметно снижается; положительные результаты исследований на сифилис незначительно растут при уменьшении количества самих исследований в 2019г. Но по количеству заболевших на душу населения сифилис занимает среднее место, а самые низкие показатели - у гонококковой инфекции. (см. Таблицу 2).

Статистика показывает значительное снижение числа выявленных случаев заболеваний в 2015-2019 гг. по сравнению с 2010 годом. Одной из причин такого снижения может быть развитие медицины за прошедшее десятилетие. Другая причина может, наоборот, заключаться в том, что населению стало сложнее получать медицинские услуги, они стали менее доступны, очереди стали длиннее, а

при этом объём и простота поиска информации в сети интернет позволила многим потенциальным пациентам обратиться к самолечению, в силу чего стало меньше обращений за квалифицированной помощью и, следовательно, стало меньше официально зарегистрированных случаев заболеваний [6, стр. 4]. Особенно это заметно на примерах малоизвестных населению заболеваний, к которым население может относиться более беспечно по сравнению с общеизвестными пугающими болезнями. К примеру, для гонококковой инфекции, трихомоноза, хламидиоза снижение уровня зарегистрированных случаев составило 4-7 крат, в то время как с сифилисом картина менее значительна — с 920 до 808 случаев, т.е. в пределах 12-13%, что может объясняться общим страхом населения перед сифилисом и более сильной мотивацией к обращению за профессиональной помощью.

Таблица 2

Количество выявленных случаев заболеваний ИППП в Краснодарском крае [4], [5]

	2010	2015	2018	2019
Сифилис	920 (16,6)	834 (15,0)	807 (18,1)	808 (18,1)
Гонококковая инфекция	380 (15,4)	176 (7,0)	69 (2,7)	51 (2,0)
Аногенитальный герпес	986 (18,9)	414 (7,5)	254 (4,5)	201 (3,6)
Трихомоноз	5906 (113,1)	2023 (36,9)	1283 (22,8)	1057 (18,7)
Хламидиоз	3284 (69,2)	1372 (25,0)	898 (16,0)	866 (15,3)*

* в скобках указано количество случаев на 100 000 населения

Инфекции, передающиеся половым путём, вызывают существенные осложнения и последствия как у мужчин, так и у женщин. У мужчин непролеченные воспаления мочеполовой системы могут приводить к возникновению стриктур (сужений) уретры, хроническим воспалениям простаты, яичек, придатков яичек. Из-за особенностей строения предстательная железа плохо поддаётся лечению и становится источником постоянно протекающей

инфекции, которая распространяется на все половые органы. Возбудители многих ИППП переносятся на сперматозоидах, которые, проникая через слизистую пробку шейки матки, попадают в матку, инфицируя её. Через маточные трубы, которые анатомически открыты в брюшную полость, инфекция может распространяться и на другие органы. Мико-

плазмы и уреаплазмы могут уменьшать подвижность сперматозоидов, вызывать их деформации и дисфункцию, и, как следствие, мужское бесплодие.

Для женского здоровья, и в особенности, для репродуктивной функции, ИППП особенно опасны на всех стадиях — способности к зачатию, вынашиванию плода, родам, послеродовой реабилитации; Многие инфекции приводят к таким заболеваниям и последствиям, при которых наступление беременности становится невозможным — атрофия эпителия маточных труб и непроходимость маточных труб препятствуют продвижению яйцеклетки в матку, в результате оплодотворение не происходит, либо оплодотворённая яйцеклетка может остаться в фаллопиевой трубе и развивается внематочная беременность, крайне опасное острое состояние. Воспаление эндометрия (слизистой оболочки матки) приводит к атрофии эпителия, что влечёт развитие осложнений при беременности и в родах — различные аномалии прикрепления плаценты, её приращение, отслойку, что, в свою очередь, приводит к выкидышам, преждевременным родам и оперативным вмешательствам в родовом процессе. Некоторые из этих аномалий являются показаниями для прерывания беременности. Плод при подобных патологиях испытывает гипоксию, происходит задержка внутриутробного развития и даже гибель плода. Внутриматочная инфекция — основная причина преждевременных родов; она обнаруживается приблизительно в половине всех случаев преждевременных родов, особенно, когда роды наступают ранее 30 недели беременности. Такие инфекции часто протекают бессимптомно. Чем меньше внутриутробный возраст плода при родах, тем выше частота внутриамниотических инфекций [3, стр. 292]. Воспалительные изменения могут трансформироваться в предраковые состояния, эрозии, спайки, рубцовые ткани имеют свойство малигнизироваться и переходить в злокачественные процессы.

Возбудители ИППП способны проникать через плацентарный барьер и вызывать у плода серьёзные патологии; В процессе родов инфицирование

новорожденного может вызвать у него заболевания и нарушения развития, в том числе, осложнения могут иметь долговременные последствия и развиваться как сразу, так и через некоторое время, год и даже несколько лет. Если роженица заражена хламидийной инфекцией, новорожденный может заразиться во время родов в результате заглатывания вагинальной слизи больной матери, что обычно приводит к развитию хламидийных конъюнктивитов (у 10–30% детей), пневмонии (у 10–20% детей), фарингитов, евстахиитов. При внутриутробном заражении плода сифилисом ребёнок рождается с врождённой сифилитической инфекцией. Возникновение врожденного сифилиса зависит от длительности и стадии заболевания у беременной. Самый опасный период для беременности — вторичный сифилис. По отечественной классификации врожденный сифилис подразделяют:

- на сифилис плода;
- ранний врожденный сифилис (в возрасте до 2 лет):
 - ✧ активный грудного возраста (от 0 до 1 года);
 - ✧ активный раннего детского возраста (от 1 года до 2 лет);
 - ✧ скрытый ранний врожденный сифилис;
- поздний врожденный сифилис (в возрасте старше 2 лет):
 - ✧ сифилис детей от 2 до 5 лет с признаками вторичного сифилиса;
 - ✧ сифилис детей старше 5 лет и взрослых с признаками третичного сифилиса;
 - ✧ скрытый поздний врожденный сифилис. [3, стр. 363]

Благодаря обширным мероприятиям по выявлению и лечению сифилиса вместе с работой государственных программ по повышению рождаемости и улучшению ухода за беременными в Краснодарском крае заметно снизилось количество случаев заболеваний сифилитической инфекцией детей разного возраста. (см. Таблицу 3)

Таблица 3

Диагностика сифилиса у беременных женщин и исходов беременностей; заболеваемость детей сифилитической инфекцией в Краснодарском крае [4], [5]

	2016	2017	2018	2019
Число взятых на учёт беременных женщин с установленным диагнозом сифилис	67	62	63	59
Беременные женщины, получившие специфическое лечение в период беременности	59	62	57	59
Беременные женщины, не получившие специфическое лечение в период беременности	8	-	6	-
Количество самопроизвольных аборт у женщин с установленным диагнозом сифилис	-	1	2	-
Искусственный аборт у женщин с установленным диагнозом сифилис	1	1	2	2
Роды женщин с установленным диагнозом сифилис	52	37	40	40
Случаи врождённого сифилиса	-	-	-	-
Случаи раннего врождённого сифилиса	-	-	-	-
Случаи позднего врождённого сифилиса	-	-	-	-
Случаи врождённого сифилиса у детей от 0 до 1 года	-	-	-	-
Случаи сифилиса у детей от 0 до 14 лет	1	2	1	2
Случаи сифилиса у детей 15-17 лет	4	1	8	4

Число взятых на учёт беременных женщин с установленным диагнозом сифилис сократилось в 2019 г. по сравнению с 2016 г. относительно незначительно — на 12%. При этом, если в 2016 г. специфическое лечение получили лишь 9 из 10 беременных, то в 2019 году — уже 10 из 10. Число не пролеченных пациенток снизилось практически до нуля. При этом число искусственных прерываний беременности среди заболевших пациенток растёт, что является тревожным признаком и свидетельствует о страхе рожать с данным диагнозом. Однако, случаев врожденного сифилиса у детей в возрасте от рождения до 1 года всё же не зарегистрировано. В дальнейшем незначительное число случаев заболеваний среди детей проявляется в возрасте от 1 до 14 лет, что может быть следствием случайных бытовых заражений. Число заболеваний резко возрастает в возрасте от 15 до 17 лет, что может быть следствием выхода подростка из под опеки родителей и началом периода самостоятельной заботы о своей общей и половой гигиене.

Кроме основных кожно-венерологических заболеваний, которые представляют опасность для репродуктивного здоровья, в последние десятилетия стало известно о некоторых других ИППП, в частности, активно развивающаяся наука о вирусах открывает нам новых возбудителей, бороться с которыми медицина только учится. Опасения вызывает цитомегаловирус (ЦМВ), заражение которым во время беременности (или его обострение во время беременности) приводит к серьёзным патологиям плода и врождённым уродствам, особенно, если инфицирование матери произошло в первом или втором триместре. У младенца может быть неразвит головной мозг (анецефалия) или случиться водянка головного мозга (гидроцефалия), а также другие патологии центральной нервной системы и неврологические осложнения.

Ещё одной инфекцией, вызывающей серьёзные опасения у акушеров-гинекологов, является вирус папилломы человека (ВПЧ). Вирусы этой группы были открыты и классифицированы сравнительно недавно и их воздействие на организм, в том числе на репродуктивную систему человека ещё изучаются. Определённо известно, что ВПЧ является причиной большинства случаев возникновения рака шейки матки. В 2008 году немецкий учёный Харальд цур Хаузен был удостоен Нобелевской премии за открытие роли ВПЧ как причины рака шейки матки. ВПЧ передается главным образом при сексуальных контактах, и большинство людей инфицируются ВПЧ вскоре после того, как начинают вести половую жизнь. ВПЧ является наиболее распространённым заболеванием, передающимся половым путём, в США, России и многих других странах. Такому распространению вируса способствует его высокая контагиозность и устойчивость к антисептикам. Барьерные методы контрацепции не являются надёжными для профилактики ВПЧ, так как инфицирование возможно через микротрещины кожи и слизистых при контакте. Диагностика ВПЧ затруднена, и статистика заболеваемости в РФ, в частности, в Краснодар-

ском крае, не представлена. Отчасти, распространённость вируса можно представить на основании статистики заболеваемости остроконечной кондиломой, аногенитальными бородавками и онкологическими заболеваниями женских половых органов. В связи с масштабами распространения ВПЧ принимаются меры профилактики в виде добровольной вакцинации, которая доступна для всех желающих, но не входит в обязательный прививочный календарь и не обеспечена системой ОМС. Вакцинация должна быть проведена до вступления в сексуальные отношения, но из-за недостаточного информирования населения немногие используют своевременно эту возможность [6, стр. 8].

Проведённый обзор статистических данных в отношении заболеваний, способных снижать репродуктивный потенциал населения, даёт возможность оценить современную ситуацию в крае, которая представляется вполне оптимистичной. Утверждённые меры по выявлению и профилактике кожно-венерологических заболеваний работают успешно и приводят к стабильному снижению заболеваемости за последние годы, разработанные протоколы лечения оздоравливают население, в том числе, уменьшают случаи инфицирования беременных и младенцев, детской смертности. В то же время с развитием вирусологии и иммунологии становится известно о сравнительно новых вирусных заболеваниях, представляющих опасность для репродуктивного здоровья населения, и необходимо продолжать работу в направлении их изучения и способах их широкой и массовой диагностики и профилактики, информировании населения, пропаганде правильного полового поведения, повышения личной ответственности, разработки современных методов лечения. Решение этой задачи будет способствовать укреплению репродуктивного потенциала нации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Денисов А.Ю. «Репродуктивный потенциал населения: подходы и методики оценки», Минск, 2017 г.
2. Дерматовенерология: учебник для медицинских ВУЗов / А.В. Самцов, В.В. Барабинов. - Спб.: СпецЛит, 2008 г.
3. Дерматовенерология, национальное руководство, краткое издание под ред. Ю.С. Бутова, Ю.К. Скрипкина, О.Л. Иванова. Москва, 2013 г.
4. Ресурсы и деятельность медицинских организаций дерматовенерологического профиля. Заболеваемость инфекциями, передаваемыми половым путём, заразными кожными болезнями за 2018-2019 гг. Сборник статистических материалов. Москва, 2020 г.
5. Ресурсы и деятельность медицинских организаций дерматовенерологического профиля. Заболеваемость инфекциями, передаваемыми половым путём, заразными кожными болезнями за 2016-2017 гг. Сборник статистических материалов. Москва, 2019 г.
6. Иволга В.Н. ИППП и репродуктивный потенциал населения. Статистический анализ. Рукопись.

HYPOLIPIDEMIC EFFECT OF DRY CENTAFIT EXTRACT IN ADRENALINE DISLIPOPROTEIDEMIA

Dashinamzhilov Zh.,

*Senior Researcher, Doctor of Medical Sciences
Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch
Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude*

Lubsandorzheeva P.,

*Senior Research Fellow, Doctor of Pharmaceutical Sciences
Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch
Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude*

Banzaraksheev V.

*Senior Lecturer, Candidate of Medical Sciences,
Buryat State University, Ulan-Ude*

ГИПОЛИПИДЕМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКСТРАКТА СУХОГО «ЦЕНТАФИТ» ПРИ АДРЕНАЛИНОВОЙ ДИСЛИПОПРОТЕИДЕМИИ

Дашинамжилов Ж.Б.,

*Старший научный сотрудник, доктор медицинских наук
Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения
Российской Академии наук, г. Улан-Удэ*

Лубсандоржиева П.Б.,

*Старший научный сотрудник, доктор фармацевтических наук
Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения
Российской Академии наук, г. Улан-Удэ*

Банзаракшеев В.Г.

*Старший преподаватель, кандидат медицинских наук,
Бурятский государственный университет
г. Улан-Удэ*

DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-30-32](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-30-32)

Abstract

In experiments on white rats, the hypolipidemic effect of dry extract "Centafit" in adrenaline dyslipoproteinemia was established.

It was found that dry extract "Centafit" diluted in purified water at a dose of 100 mg / kg in a volume of 10 ml / kg reduces the level of triacylglycerides, total cholesterol and LDL in the blood, while the level of HDL increases. The specified agent reduces the degree of oxidation of biomacromolecules against the background of a decrease in blood glucose levels.

Аннотация

В экспериментах на белых крысах установлено гипополипидемическое действие сухого экстракта «Центафит» при адреналиновой дислипопроотеидемии.

Установлено, что экстракт сухой «Центафит», разведенный в воде очищенной в дозе 100 мг/кг в объеме 10 мл/кг снижает в крови уровень триацилглицеридов, общего холестерина и ЛПНП, в то время как уровень ЛПВП повышается. Указанное средство уменьшает степень окисления биомакромолекул на фоне снижения уровня глюкозы в крови.

Keywords: dry extract "Centafit", hypolipidemic effect.

Ключевые слова: экстракт сухой «Центафит», гипополипидемический эффект.

По данным ВОЗ частота заболеваний сердечно-сосудистой патологии в мире ежегодно умирает более 15 млн. человек, причем большинство из них не

едоживает до 65 лет [5]. Известно, что среди причин, приводящих к развитию болезней системы кровообращения ведущее место занимает атеросклероз [2]. Органов, 1994). Ведущая роль в развитии атеросклероза принадлежит нарушению липидного обмена, сопровождающего дислипопроотеидемией, а также дисфункции эндотелия,

повышенному тромбогенному потенциалу плазмы [4].

Несмотря на широкий выбор антиатеросклеротических и гипополипидемических препаратов, они не всегда оказывают желаемый эффект и довольно часто вызывают побочные

реакции. В связи с этим, весьма важной проблемой является поиск новых, активных и малотоксичных лекарственных средств, предотвращающих развитие дислипопроотеидемий различного генеза. В этом плане перспективным являются средства

растительного происхождения, которые в настоящее время остаются перспективным источником получения новых фитопрепаратов.

Целью настоящего исследования явилось определение фармакотерапевтической эффективности ЭС «Центафит» при экспериментальной адреналиновой дислипидемии.

Эксперименты выполнены на 32 белых крысах линии Wistar обоего пола с исходной массой 160-170 г. Животных содержали в стандартных условиях вивария при одинаковом уходе и питании, световом и температурном режиме, со свободным доступом к воде. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с Правилами Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей [Страсбург, 1986]. Экспериментальную гиперлипидемию индуцировали в соответствии с Методическими указаниями [1] однократным внутрибрюшинным введением адреналина гидрохлорида - в дозе 1,5 мг/кг.

Водный раствор ЭС «Центафита» вводили внутривенно животным в дозе 100 мг/кг в объеме 10 мл/кг до введения адреналина гидрохлорида в течение 7 дней.

Последнее его введение осуществляли одновременно с индуцированием дислипидемии. Животным контрольной группы вводили эквивалентное количество воды очищенной по аналогичной схеме. Исследования осуществляли через 30 минут после введения адреналина гидрохлорида.

При исследовании специфической гиполлипидемической активности растительного средства в сыворотке крови определяли содержание общего холестерина (ОХС), триацилглицеридов (ТГ), фракции β -липопротеидов (β -ЛП), липопротеидов высокой плотности (ХСЛПВП), липопротеидов низкой плотности (ХСЛПНП), липопротеидов очень низкой плотности (ХСЛПОНП), индекса атерогенности (ИА) и отношение ХСЛПНП к ХСЛПВП, используя унифицированные лабораторные методы исследования с помощью диагностических биохимических наборов фирм «Human», «Olvex Diagnosticum», «Roche», «Вектор Бест». Полученные в ходе экспериментов данные статистически обработаны общепринятыми методами для малой выборки с определением средней величины (М) и средней арифметической ошибки (m). Достоверность результатов оценивали с применением критерия Стьюдента [3]. Различия считали значимыми при вероятности 95 % ($P < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Как следует из приведенной таблицы 1, при однократном введении адреналина лабораторным животным развивалась резко выраженная дислипидемия. В частности, на 25 % в крови возрастало содержание общего холестерина, на 57 % - триацилглицеридов, в 2,6 раза – ХСЛПНП, на 50 % - ХСЛПОНП, индекс атерогенности увеличивался в 4,3 раза, отношение ХСЛПНП/ХСЛПВП – в 4 раза. Наряду с этим, содержание антиатерогенных липопротеидов (ХСЛПВП) снижалось на 35% по сравнению с данными у животных интактной группы.

Таблица 1

Влияние ЭС «Центафит» на показатели липидного обмена и содержание глюкозы в крови у белых крыс при адреналиновой гиперлипидемии

Показатели	Группы животных		
	Интактная	Контрольная (адреналин+ H ₂ O)	Опытная (адреналин + центафит)
ОХС, ммоль/л	2,80 ± 0,11	3,11 ± 0,10	2,60 ± 0,10*
ТГ, ммоль/л	0,70 ± 0,05	1,10 ± 0,09	0,88 ± 0,02*
ХСЛПВП, ммоль/л	2,20 ± 0,9	1,4 ± 0,10	1,9 ± 0,10*
ХСЛПНП, ммоль/л	0,80 ± 0,01	2,10 ± 0,2	1,00 ± 0,10*
ХСЛПОНП, ммоль/л	0,20 ± 0,01	0,30 ± 0,02	0,18 ± 0,01*
β -липопротеиды, ед.	3,0 ± 0,1	3,45 ± 0,10	2,50 ± 0,20*
Индекс атерогенности (ИА)	0,4 ± 0,01	1,70 ± 0,11	0,48 ± 0,01*
Отношение ХСЛПНП/ХСЛПВП	0,36 ± 0,011	1,50 ± 0,01	0,52 ± 0,01*
Глюкоза, мм/л	8,0 ± 0,11	16,10 ± 1,0	11,1 ± 1,12*

Примечание: * - здесь и далее разница значима по сравнению с показателями у животных контрольной группы при $P < 0,05$.

При превентивном введении указанного средства содержание холестерина снижалось на 17 %, триацилглицеридов – на 20 %, ХСЛПНП – на 58 %, ХСЛПОНП – 40 %, β -липопротеидов – на 28 %, в значительной степени снижался индекс атерогенности и отношение ХСЛПНП/ХСЛПВП по сравнению с показателями у животных контрольной группы. Вместе с тем, содержание ХСЛПВП повышалось на 35 % по сравнению с данными у животных, которым вводили только адреналин. Наряду с этим установлено, что при введении крысам адреналина гидрохлорида в крови в 2 раза возрастало

содержание глюкозы. При назначении лабораторным животным указанного растительного средства концентрация сахара в крови снижалась на 31 % по сравнению с показателями у крыс контрольной группы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, комплексное растительное средство снижает в крови уровень триацилглицеридов, общего холестерина и ЛПНП, в то время как уровень ЛПВП повышается. Указанное средство уменьшает степень окисления биомолекул на фоне снижения уровня глюкозы в крови.

По всей видимости, указанное средство, обладая выраженным положительным влиянием на изменение спектра липопротеидов и гипогликемическим действием при адреналиновой гиперлипидемии может способствовать как снижению образования альдегидов при аутоокислении повышенного уровня глюкозы в организме и тем самым препятствовать окислительной модификации ЛПНП, так и путем снижения перекисидации ЛПНП уменьшать уровень конечных продуктов гликозилирования.

Фармакологическая активность и фармакотерапевтическая эффективность растительного средства обусловлена наличием широкого спектра биологически активных веществ, таких как дубильные вещества (таниды); флавоноиды (кверцетин, гиперин, витексин, гиперозид, ликопин и др.); терпены (α - и β - пинены, камфен); лимонен, терпинеол, борнеол, цинеол; кумарины (кумаровая кислота, дикумарол, пиранокумарины); алкалоиды (даурин, ликоподин, никотин, акрифоллин); стероидные и тритерпеновые сапонины (β -ситостериноглицеризин); органические кислоты; микроэлементы; витамины (аскорбиновая кислота, B_{12} , B_1 , B_2 , E, PP, K); пектины, смолы, жирные масла и жироподобные вещества, слизистые и горькие вещества, азотсодержащие соединения (включая аминокислоты), крахмал, сахара, белок и др.

Широкий спектр фармакологической активности и фармакотерапевтической эффективности указанного средства аргументируют целесообразность ее включения в комплексную профилактику и терапию дислипидемий и атеросклероза.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проведены в рамках выполнения темы госзадания №АААА-А17-117011810037-0 «Биотехнологические основы и молекулярно-клеточные механизмы действия адаптогенных средств, созданных на основе эсдистероидсодержащих растений Восточной Сибири».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Методические рекомендации: экспериментальное изучение гиполлипидемических и антиатеросклеротических средств. М., 1988. 16 с.
2. Органов Р.Г. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в России и некоторые влияющие на нее факторы / Кардиология, №4, стр. 80-83 (1994).
3. Сергиенко В.И. Математическая статистика в клинических исследованиях / В.И.Сергиенко, И.Б.Бондарева // М. 2001. 256 с.
4. Чазов Е.И. Фармакотерапия сердечно-сосудистых заболеваний.- М.2000. -416 с.
5. Чазов Е.И. Проблемы первичной и вторичной профилактики сердечно-сосудистых заболеваний / Терапевтический архив, №9, стр.5-8 (2002).

ANALYSIS OF THE EXPRESSION OF ANTIMICROBIAL PEPTIDES OF SALIVA IN CHILDREN WITH DISEASES OF THE ORAL MUCOSA ASSOCIATED WITH ATOPIC DERMATITIS

Slavinska V.

PhD student,

Bogomolets National Medical University

АНАЛІЗ ЕКСПРЕСІЇ АНТИМІКРОБНИХ ПЕПТИДІВ РОТОВОЇ РІДИНИ У ДІТЕЙ З УРАЖЕННЯМИ СЛИЗОВОЇ ОБОЛОНКИ ПОРОЖНИНИ РОТА, АСОЦІЙОВАНИМИ АТОПІЧНИМ ДЕРМАТИТОМ

Славінська В.

аспірант

Національний медичний університет імені О.О.Богомольця

DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-32-35](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-32-35)

Abstract

The level of antimicrobial peptides of saliva in children 12-18 years old with atopic dermatitis, in which diseases of the oral mucosa were diagnosed - erythema multiforme, simple recurrent herpes, herpes-associated erythema multiforme. There was a significant decrease in the expression of antimicrobial peptides LL-37 (cathelicidins) and HNP 1-3 (α - defensins) in saliva, more significant for IgE-independent form of atopic dermatitis.

Анотація

Досліджено рівень антимікробних пептидів ротової рідини дітей 12-18 років з atopічним дерматитом, у яких діагностовано захворювання слизової оболонки порожнини рота – багатоформна ексудативна еритема, простий рецидивний герпес, герпес-асоційована багатоформна ексудативна еритема. Виявлено значне зниження експресії антимікробних пептидів LL-37 (кателіцидинів) та HNP 1-3 (α – дефензинів) у ротовій рідині, більш значуще за IgE–незалежної форми АД.

Keywords: antimicrobial peptides, LL-37 (cathelicidins), HNP 1-3 (α - defensins), atopic dermatitis, diseases of the oral mucosa

Ключові слова: антимікробні пептиди, LL-37 (кателіцидини), HNP 1-3 (α – дефензини), atopічний дерматит, захворювання слизової оболонки порожнини рота

Одним з маловідомих до сьогодні компонентів системи вродженого імунітету є антимікробні пептиди (АМП), які на даний час дослідники розглядають як природні ендogenous антибіотики [1, с.198; 2,с.121]. Саме антибактеріальний вплив є критерієм, за яким до однієї групи включають різномірні за структурою пептиди різних тканин організму, які контактують з навколишнім середовищем: шкіри, слизових оболонок, шлунково-кишкового тракту, сечовидільної та статевих систем [3, с.496]. На даний час відомо, що водночас із антимікробною дією, антимікробні пептиди опосередковують взаємодію двох основних імунного захисту організму – вродженого та набутого [4,с.19; 5,с.146], а саме за участі антимікробних пептидів їх активація та координація сприяє більш ефективному розпізнаванню та знищенню патогенів [6, с.2746; 7,с.147].

У порожнині рота АМП відіграють ключову роль щодо підтримки здоров'я. Це обумовлено відомими бар'єрними властивостями СОПР як авангардом захисту внутрішнього середовища від безлічі видів мікроорганізмів. Останніми роками були проведені низки досліджень щодо ролі дефензинів, кателіцидинів, гістатину та інших АМП у підтримці гомеостазу ротової порожнини, а також у профілактиці бактеріальних, грибкових та вірусних інфекцій [7,с.148]. Результати досліджень останніх років довели, що дефекти експресії або функціонування АМП можуть пояснити деякі аспекти патогенезу самих різних захворювань людини, у тому числі, atopічного дерматиту, карієсу, хронічних тонзилітів тощо [8, с.26].

Певну роль у формуванні патології порожнини рота відіграють АМП, оскільки захист епітеліальних поверхонь від мікроорганізмів залежить від їх експресії. Основні класи АМП експресуються як у епітелії шкіри, так і у ротовій порожнині (слині і епітелії) [9,с.44; 10,с.20].

Метою даного фрагменту комплексного дослідження щодо клініко-лабораторного обґрунтування удосконалення діагностики та лікування захворювань слизової оболонки порожнини рота, асоційованих з atopічним дерматитом (АД) у дітей було визначення рівня експресії антимікробних пептидів ротової рідини за перебігу багато формної ексудативної еритеми, простого рецидивного герпесу та герпес-асоційованої багато формної еритеми на тлі IgE-залежної та IgE-незалежної форм АД.

Матеріал і методи. Відповідно до програми дослідження, нами було проведено аналіз експресії антимікробних пептидів ротової рідини у 129 дітей з тяжкими захворюваннями СОПР, асоційованими з АД обох клініко-імунологічних форм.

В залежності від клініко-імунологічної форми АД за діагностичними критеріями Hanifin&Rajka

[11, с.1488], досліджувані були розподілені на дітей, хворих на АД-залежної форми (АД (IgE⁺)) та дітей, хворих на АД IgE-незалежної форми (АД (IgE⁻)). Контингент дітей з IgE-залежною формою АД (IgE⁺), у яких були прояви уражень СОПР та губ, увійшли 52 дитини, практично із рівномірним розподілом за статтю (дівчата -27 осіб склали 51,92%, $p \leq 0,05$). Аналіз історії хвороби цих дітей вказував на появи atopічних захворювань у родичів в анамнезі та виявляв високі рівні концентрації загального IgE у сироватці крові, резистентність до лікування як АД, так і проявів і уражень СОПР та губ.

АД-незалежної форми (АД (IgE⁻)) за критеріями Hanifin&Rajka було визначено у 77 дітей з числа тих, у кого спостерігалися в анамнезі та під час обстеження ураження СОПР та губ, вони не мали atopічного анамнезу та підвищеного рівня загального сироваткового IgE. Щодо статевих розподілу, переважну більшість у цій групі (54,55%) склали хлопці (42 особи), $p \leq 0,05$.

Дослідження щодо вмісту двох основних антимікробних пептидів порожнини рота - LL-37 (кателіцидинів) та HNP 1-3 (α – дефензинів) проводили з використанням методу імуноферментного аналізу ротової рідини на апараті RIDER ANTHOOS 2020 за допомогою набору Human LL-37 ELISA, Human HNP 1-2 ILISA (Hycult Biotech, Голандія). Використовували ротову рідину, яку збирали вранці натще (перед чищенням зубів) шляхом прямого витікання до пробірки, у кількості 0,2 мл. Використовували пробірки SaliCap, з поліпропілену, що перешкоджає адгезії антимікробних пептидів до стінок пробірки. Зібраний матеріал центрифугували зі швидкістю 1500 об/хв протягом 15 хвилин. Надосадну рідину заморожували при температурі -70 C⁰. Статистичну обробку даних проводили з використанням програмного забезпечення «IBM SPSS Statistics 20».

Результати та їх обговорення. Було досліджено активність двох основних антимікробних пептидів порожнини рота - LL-37 (кателіцидинів) та HNP 1-3 (α – дефензинів).

На початку дослідження нами було визначено рівень АМП порожнини рота в залежності від віку. Відповідно, дослідження проводили у вікових групах: 12-13 років – 66 дітей. 14-15 – 32 дитини, 16-18 – 31. Контролем слугували 30 клінічно соматично та стоматологічно здорових дітей аналогічного віку та статі.

Результати наведені у таблиці 1. Статично не виявлено залежності між рівнем антимікробних пептидів та віком дітей, які беруть участь у дослідженні. Це стосується як дітей з atopічним дерматитом, так і дітей контрольної групи.

Таблиця 1.

Рівень антимікробних пептидів у дітей з ураженнями СОПР, асоційованими з АД, за віком.

Вікові групи	12-13 років		14-15 років		16-18 років	
	АД n=66	К n=10	АД n=32	К n=10	АД n=31	К n=10
LL-37, нг/мл	0,61±0,15	0,88±0,16	0,63±0,13	1,1±0,21	0,66±0,19	1,0±0,16
HNP 1-3, нг/мл	6,3±1,35	7,34±1,76	6,1±1,67	7,26±1,92	5,8±1,91	7,26±2,02

В цілому при АД з наявними ураженнями СОПР середньогрупове значення рівня LL-37 (кателіцидинів) становить 0,63±0,12 нг/мл у порівнянні з контролем 0,99±0,19 нг/мл ($p \leq 0,05$), а HNP 1-3 (α – дефензинів) – відповідно 6,07±1,21 нг/мл порівняно з контролем 7,29±1,29 нг/мл ($p \leq 0,05$).

З метою визначення вірогідної ролі АМП у формуванні уражень СОПР при atopічному дерматиті ми проаналізували показники рівнів АМП у дітей з різними нозологічними формами тяжких уражень СОПР – БЕЕ, ГА БЕЕ та ПРГ, асоційованих з АД (IgE⁺) та АД (IgE⁻). Результати наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Рівень експресії антимікробних пептидів у ротовій рідині дітей з БЕЕ, ПРГ та ГА БЕЕ, асоційованими з atopічним дерматитом IgE-залежної та IgE-незалежної форм

Групи	БЕЕ		ГА БЕЕ		ПРГ	
	АД (IgE ⁺) n=2	АД (IgE ⁻) n=31	АД (IgE ⁺) n=31	АД (IgE ⁻) n=0	АД (IgE ⁺) n=11	АД (IgE ⁻) n=19
LL-37, нг/мл	0,72±0,19	0,58±0,13	-	0,56±0,16	0,82±0,09	0,65±0,14
HNP 1-3, нг/мл	6,04±2,09	5,24±1,22	-	5,20±1,01	6,12±1,17	6,98±1,79

Порівняння показників експресії АМП у ротовій рідині дітей з atopічним дерматитом різних клініко-імунологічних форм значне їх зниження при IgE-незалежній формі АД. Так, у дітей з БЕЕ АД (IgE⁻) активність LL-37 (кателіцидинів) становила 0,58±0,13 нг/мл, а при БЕЕ АД (IgE⁺) – 0,72±0,19 нг/мл ($p \leq 0,05$). Наявність ГА БЕЕ у дітей з АД (IgE⁻) супроводжувалася найнижчим рівнем експресії LL-37 (кателіцидинів), що складало 0,56±0,16 нг/мл, в порівнянні з контролем 0,99±0,19 нг/мл це фактично в 1,7 рази. Дещо менші зміни відносно контрольних показників LL-37 (кателіцидинів) спостерігалися у хворих з ПРГ. Так, при АД (IgE⁺) цей показник становив 0,82±0,09 нг/мл, а при АД (IgE⁻) він був достовірно нижчим – 0,65±0,14 нг/мл ($p \leq 0,05$).

Аналогічно змінюється активність α – дефензинів в обох групах, як було зазначено вище. Але простежується закономірність падіння рівня експресії цього АМП у дітей з АД (IgE⁻). Так, при БЕЕ АД (IgE⁻) рівень HNP 1-3 становить 5,24±1,22 нг/мл, що достовірно нижче за БЕЕ АД (IgE⁺) (6,04±2,09 нг/мл), ($p \leq 0,05$), в 1,4 менше за контрольний показник. Ще виразніше зниження експресії α – дефензинів у дітей з ГА БЕЕ, асоційованих з АД (IgE⁻) – 5,20±1,01 нг/мл.

Водночас, при ПРГ, де бактеріальне навантаження є вторинним, спостерігається менші відхилення рівнів АМП від контрольних у дітей обох груп, причому при АД (IgE⁻) рівень HNP 1-3 вище за такий при АД (IgE⁺): 6,98±1,79 проти 6,12±1,17 нг/мл ($p \leq 0,05$).

Висновки. У дітей з БЕЕ АД (IgE⁻) активність LL-37 (кателіцидинів) становила 0,58±0,13 нг/мл, а при БЕЕ АД (IgE⁺) – 0,72±0,19 нг/мл ($p \leq 0,05$). Наявність ГА БЕЕ у дітей з АД (IgE⁻) супроводжувалася падінням рівня експресії LL-37 (кателіцидинів) у 1,7 рази – 0,56±0,16 нг/мл, проти контролю 0,99±0,19 нг/мл, у дітей з ПРГ АД (IgE⁺) – 0,82±0,09 нг/мл, а при АД (IgE⁻) він був достовірно нижчим – 0,65±0,14 нг/мл ($p \leq 0,05$). Зниження експресії HNP 1-3 (α – дефензинів) виявлено за обох форм АД, але більшою мірою також у дітей з АД (IgE⁻): при БЕЕ АД (IgE⁻) рівень HNP 1-3 становить 5,24±1,22 нг/мл, що в 1,4 менше за контроль та аналогічний показник при БЕЕ АД (IgE⁺) – 6,04±2,09 нг/мл, ($p \leq 0,05$), а при ГА БЕЕ, асоційовані з АД (IgE⁻) становить 5,20±1,01 нг/мл. Для дітей з ПРГ на тлі обох форм АД рівень HNP 1-3 (α – дефензинів) вище за такий при АД (IgE⁻): 6,98±1,79 проти 6,12±1,17 нг/мл ($p \leq 0,05$).

Порівняльний аналіз показників експресії антимікробних пептидів LL-37 (кателіцидинів) та HNP 1-3 (α – дефензинів) у ротовій рідині дітей з atopічним дерматитом виявив, що розвиток інфекційно-алергічних уражень СОПР (БЕЕ, ГА БЕЕ та ПРГ) у дітей 12-18 років з atopічним дерматитом супроводжується зниженням рівня експресії антимікробних пептидів LL-37 (кателіцидинів) та HNP 1-3 (α – дефензинів) у ротовій рідині, більш значущими за IgE-незалежної форми АД.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

- Altman H., In vitro assessment of antimicrobial peptides as potential agents against several oral bacteria/ H. Altman, D. Steinberg, Y. Porat et al // *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. - 2006. - № 5. - p. 198–201.
- Beverly, A. Dale Antimicrobial Peptides in the Oral Environment: Expression and Function in Health and Disease / A. Dale Beverly, L. Page Fredericks // *Current Issues in Molecular Biology*. - 2005. - № 7. - P. 119–134
- Havard, J. Peptide Antimicrobial Agents / Havard Jenssen, Pamela Hamill // *Clinical Microbiology Reviews*. - 2006. - № 7. - P. 491–511.
- Gambichler, T. Differential mRNA expression of antimicrobial peptides and proteins in atopic dermatitis as compared to psoriasis vulgaris and healthy skin / T. Gambichler, M. Skrygan, N.S. Tomi // *Int Arch Allergy Immunol*. - 2008. - № 147. - P. 17–24.
- Hata, T.R. Antimicrobial Peptides, Skin Infections and Atopic Dermatitis / T.R. Hata., R.L. Gallo // *Semin Cutan Med Surg*. - 2008. - № 27. - P. 144–150.
- Mathews M., Production of α -Defensin Antimicrobial Peptides by the Oral Mucosa and Salivary Glands / Michael Mathews, Hong Peng Jia, Janet M. Guthmiller et al // *Infection and Immunity*. – 1999 - №6 – P.2740-2745.
- Tissa R., Antimicrobial Peptides, Skin Infections and Atopic Dermatitis/ Tissa R. Hata, Richard L. Gallo // *NIH Public Access Author Manuscript*. – 2008. - № 27(2). – P.144-150.
- Кулакова Е.В., Значение антимикробных пептидов в формировании патологии полости рта у детей с атопическим дерматитом: Автореф. дис. к. мед. н., М.: 2014. – 30с.
- Волосовець Т.М., Попередження рецидивів клінічних проявів запальних захворювань тканин пародонта, асоційованих з персистуючою вірусною інфекцією в порожнині рота у хворих-вірусноносіїв / Т.М. Волосовець // *Експериментальна і клінічна медицина*.-2008.-№ 4.- С.43-46.
- Самойленко А.В., Сучасні методи діагностики неспецифічного захисту тканин пародонта в жителів промислового регіону / А.В. Самойленко, С.В. Павлов, І.В. Возна // *Український стоматологічний альманах*. 2020. № 2. – 18-22.
- Bieber Th. Mechanisms of disease. Atopic dermatitis. // *N. Engl. J. Med*. 2008; 358 (3): 1483–1494.

DYNAMICS OF INFLAMMATORY MEDIATORS IN CONDITIONS OF SUBSTANCE P BLOCK**Shevchenko O.,****Sych V.***Kharkiv National Medical University, Ukraine*DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-35-39](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-35-39)**Abstract**

With the aim to determine the features of the concentration of tumor necrosis factor- α , interleukin-6 in the blood in carrageenan secondary chronic inflammation against the background of blockade of substance P an experimental prospective controlled randomized study was performed on 132 WAG rats in series of 6 rats each in the natural course and using a pharmacological aprepitant preparation – inhibitor of NK-1R in the control and simulated inflammation series for 6 hours, as well as 1, 2, 3, 5, 7, 10, 14, 21, 28 days. the peculiarities of the concentration of tumor necrosis factor- α , interleukin-6 in the blood in carrageenan secondary chronic inflammation on the background of blockade of substance P have been developed.

Keywords: interleukin-6, secondary chronic inflammation, substance P, tumor necrosis factor- α .

Background.

Inflammation is the fundamental pathological process underlying the majority of the diseases. The mechanisms of its development, progression, chronization are mediated by a plenty of humoral agents, i. e. "inflammatory mediators". Each of them while having multiple biological effect, very formally may be associated with predominantly stimulatory or, vice versa, depressor influence on inflammation (pro- or anti-inflammatory, accordingly). Tumor necrosis factor alpha, interleukin 6 are mostly associated with proinflammatory effect and serve as a reference mediators. In an inflammation, immune processes, the substance P, its neurokinin-1 receptor (NK-1R) play an integral role, apart of being involved in the regulation of a plenty of other pathophysiological processes – nociception, motility of gastrointestinal tract, cancerogenesis, heart failure etc. [1–4].

Thus, the substance P is involved in an initiation of T-helpers type 2 migration [5]; tachykinergic system is integrated with enkephalinergic [6]; substance P increases the expression and synthesis of such proinflammatory mediators produced by macrophages as TNF α , endothelial vascular growth factor etc. The technological level of the laboratory procedures concerning substance P detection continuously undergo different improvements allowing more and more advanced studies [7–10].

While, there is a lack of evidence of a dynamics of inflammatory mediators, especially tumor necrosis factor alpha and interleukin 6, in conditions of substance P block.

Aim: to determine the features of the concentration of tumor necrosis factor- α , interleukin-6 in the blood in carrageenan secondary chronic inflammation against the background of blockade of substance P.

Material and methods.

An experimental prospective controlled randomized study was performed on 132 WAG rats in series of 6 rats each in the natural course and using a pharmacological aprepitant preparation – inhibitor of NK-1R in the control and simulated inflammation series for 6 hours, as well as 1, 2, 3, 5, 7, 10, 14, 21, 28 days.

The content of tumor necrosis factor alpha (TNF- α), interleukin 6 (IL-6) in the natural course of inflammation was estimated.

The rats were kept in the vivarium for 10–12 individuals in a cage under standard conditions on a normal diet with free access to water. To exclude the influence of natural circadian rhythms on the indicators, the experiment was performed in the autumn-winter period in a standardized way in the morning.

A carrageenan model of inflammation was selected, using 10 mg of α -carrageenan (Sigma, USA) in

Table 1

Dynamics of concentration of tumor necrosis factor α , interleukin 6 in the blood during the natural course of inflammation

Series of animals	TNF- α , pg/ml	IL-6, pg/ml
Intact control	4.03 [3.96; 4.85]	7.93 [7.42; 8.11]
6 hours	5.27 [5.25; 5.31]	8.57 [8.49; 8.65]
1 day	6.11 [6.07; 6.22]	9.18 [9.12; 9.21]
2 days	8.65 [8.56; 8.79]	9.00 [8.93; 9.05]
3 days	9.91 [9.83; 10.02]	10.69 [10.53; 11.00]
5 days	8.08 [7.25; 8.24]	8.91 [8.47; 8.99]
7 days	7.00 [6.53; 7.05]	7.97 [7.89; 8.12]
10 days	4.15 [3.98; 4.21]	7.33 [7.25; 7.36]*
14 days	4.05 [3.96; 4.12]	7.97 [7.89; 8.11]
21 days	3.64 [3.57; 3.75]	7.72 [7.54; 7.88]
28 days	3.93 [3.88; 4.05]	8.05 [7.93; 8.11]

Note. * — the difference with control is significant at $p < 0.05$; † — the difference with previous series is significant at $p < 0.05$; ‡ — the difference with the corresponding series for the blockade of substance P is significant at $p < 0.05$.

In the natural course of inflammation, the general trend is a burst-like increase in the concentration of each of the studied humoral indicators of systemic inflammation for 1–3 days and a gradual further decrease (Figure. 1).

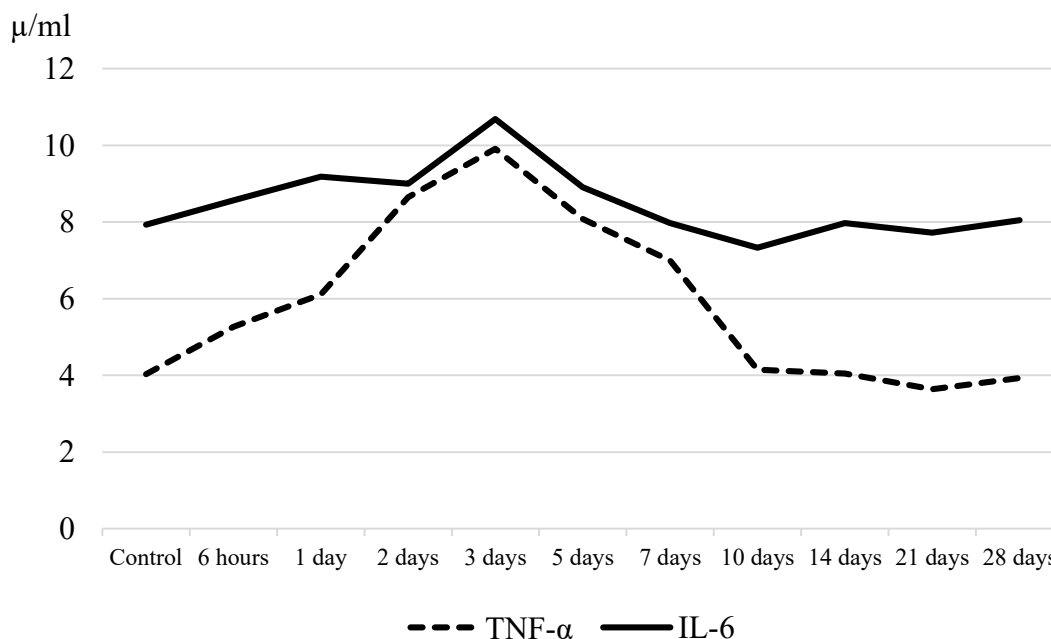


Fig. 1. Dynamics of concentration of tumor necrosis factor α , interleukin 6 in the blood during the natural course of inflammation

Regarding the control in the natural course of inflammation, statistically significant differences were found in the concentration of IL-6 – in 10 days ($p=0.04$).

Trends comparing with controls were identified for:

- TNF- α concentration – in 6 hours ($p=0.08$), in 1 day ($p=0.08$), in 2 days ($p=0.08$), in 3 days ($p=0.08$), in 5 days ($p=0.05$), in 7 days ($p=0.08$), in 10 days ($p=0.07$), in 14 days ($p=0.05$);

- concentration of IL-6 – in 6 hours ($p=0.08$), in 1 day ($p=0.08$), in 3 days ($p=0.08$), in 5 days ($p=0.05$), in 7 days ($p=0.08$), in 14 days ($p=0.05$).

Comparing with the previous duration of modeling of inflammation in the natural course of inflammation, no statistically significant differences were found for any of the studied indicators (TNF- α , IL-6).

Trends are defined comparing the previous series of duration of inflammation in relation to:

- TNF- α concentration – between 6 hours and 1 day ($p=0.08$), between 1 and 2 days ($p=0.08$), between 2 and 3 days ($p=0.08$), between 3 and 5 days ($p=0.05$), between 7 and 10 days ($p=0.08$), between 14 and 21 days ($p=0.08$), between 21 and 28 days ($p=0.05$),

- concentration of IL-6 – between 6 hours and 1 day ($p=0.08$), between 1 and 2 days ($p=0.08$), between 2 and 3 days ($p=0.08$), between 3 and 5 days ($p=0.05$), between 7 and 10 days ($p=0.08$), between 10 and 14 days ($p=0.08$), between 14 and 21 days ($p=0.08$).

The blood concentrations of TNF- α , IL-6 in case of blockade of substance P was studied (Table 2).

Table 2

Dynamics of the concentrations of tumor necrosis factor α , interleukin 6 in the blood during blockade of substance P

Series of animals	TNF- α , μ /ml	IL-6, μ /ml
Control with preparation injection	4.11 [4.00; 4.29]	8.05 [7.88; 8.12]
6 hours	3.88 [3.79; 4.90]	6.81 [6.75; 7.00]
1 day	5.00 [4.97; 5.03]	8.00 [7.92; 8.07]
2 days	4.16 [4.00; 4.33]	7.83 [7.72; 9.00]
3 days	5.32 [5.29; 5.51]	7.05 [6.94; 7.12]
5 days	4.07 [4.05; 4.11]	7.34 [7.29; 7.42]
7 days	4.51 [4.49; 4.60]	5.59 [4.55; 5.65]
10 days	3.44 [3.42; 3.49] [†]	6.45 [6.39; 6.51] ^{†‡}
14 days	3.01 [2.94; 3.07] [†]	6.98 [6.91; 7.01]
21 days	3.69 [3.51; 4.00]	7.63 [7.44; 7.93]
28 days	3.98 [3.95; 4.04]	7.96 [7.87; 8.04]

Note. * – the difference comparing with control is significant at $p<0.05$; † – the difference comparing with the previous series is significant at $p<0.05$; ‡ – the difference comparing with the corresponding series in the natural course of inflammation is significant at $p<0.05$.

Comparing with the control in case of blockade of substance P, statistically significant differences were found in the concentration of IL-6 – in 10 days ($p=0.04$).

Trends in differences comparing with control are identified for:

- concentration of TNF- α – in 1 day ($p=0.08$), in 3 days ($p=0.08$), in 7 days ($p=0.08$), in 10 days ($p=0.05$), in 14 days ($p=0.05$);

- concentrations of IL-6 – in 6 hours ($p=0.08$), in 3 days ($p=0.08$), in 5 days ($p=0.08$), in 7 days ($p=0.08$), in 14 days ($p=0.05$).

Comparing with the previous duration of inflammation modeling in the natural course of inflammation, statistically significant differences were found in the concentration of TNF- α – between 7 and 10 days ($p=0.04$), between 10 and 14 days ($p=0.02$); concentrations of IL-6 – between 7 and 10 days ($p=0.04$).

Trends comparing with the previous series of duration of inflammation are defined in relation to:

- concentration of TNF- α – between 6 hours and 1 day ($p=0.08$), between 1 and 2 days ($p=0.08$), between 2 and 3 days ($p=0.08$), between 3 and 5 days ($p=0.08$), between 5 and 7 days ($p=0.08$), between 14 and 21 days ($p=0.05$),

- concentration of IL-6 – between 6 hours and 1 day ($p=0.08$), between 2 and 3 days ($p=0.08$), between 3 and 5 days ($p=0.08$), between 5 and 7 days ($p=0.08$), between 14 and 21 days ($p=0.05$).

The studied parameters (TNF- α , IL-6) in series with blocking of substance P in comparison with the natural course of inflammation were analyzed.

The curve of the dynamics of TNF- α concentration in series when substance P was blocked is more flattened in comparison with that during the natural course of inflammation (Fig. 2).

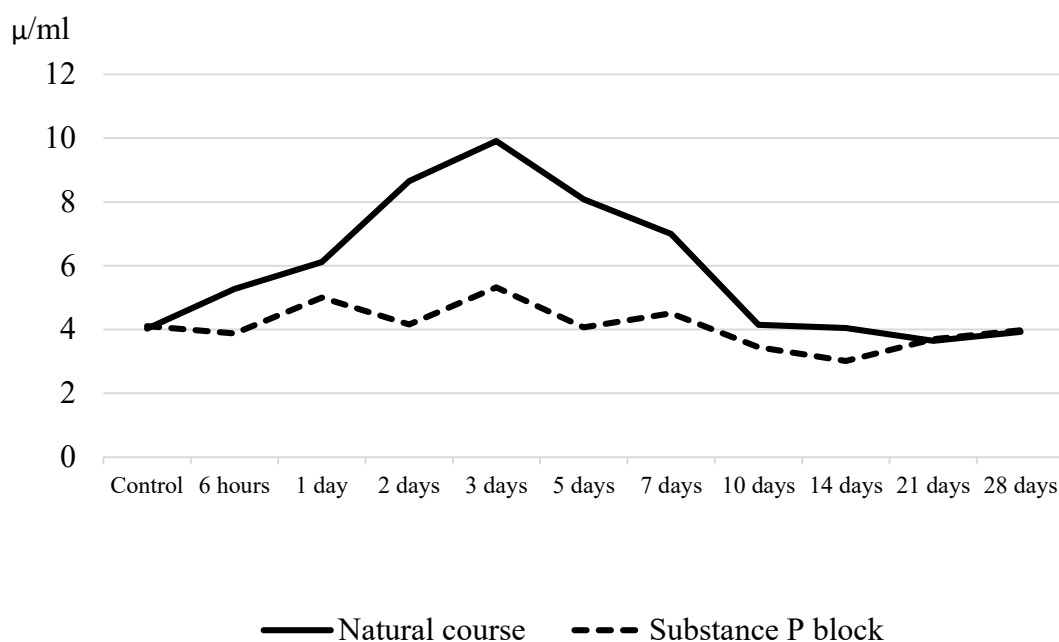


Fig. 2. Dynamics of the concentration of tumor necrosis factor α in the blood during the natural course of inflammation and in the blockade of substance P

The tendency to a lower content of TNF- α during blockade of substance P was established in 6 hours ($p=0.08$), in 1 day ($p=0.08$), in 2 days ($p=0.08$), in 3 days ($p=0.08$), in 5 days ($p=0.05$), in 7 days ($p=0.08$), in 10 days ($p=0.07$), in 14 days ($p=0.05$).

Similarly, the curve of the dynamics of the concentration of IL-6 in the blood in case of the substance P block is located in the range of lower values compared to the natural course (Fig. 3).

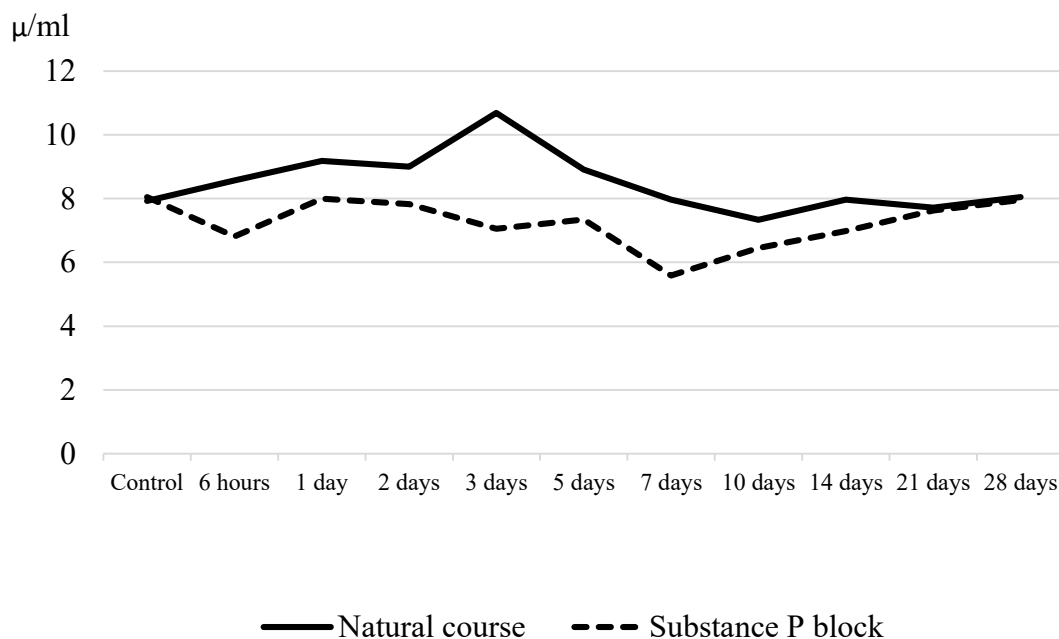


Fig. 3. Dynamics of concentration of interleukin 6 in blood at a natural course of an inflammation and at blockade of substance P

The tendency to a lower concentration of IL-6 during blockade of substance P was established in 6 hours ($p=0.08$), in 1 day ($p=0.08$), in 3 days ($p=0.08$), in 5 days ($p=0.05$), in 7 days ($p=0.08$), in 10 days ($p=0.04$), in 14 days ($p=0.05$).

Thus, the peculiarities of the concentration of tumor necrosis factor- α , interleukin-6 in the blood in car-

rageenan secondary chronic inflammation on the background of blockade of substance P have been developed.

Conclusions.

1. The blood concentrations of TNF- α , IL-6 in case of blockade of substance P vary, and statistically significant differences are found in the concentration of IL-6 – in 10 days ($p=0.04$).

2. There are the trends in differences comparing with control are identified for concentration of TNF- α – in 1 day ($p=0.08$), in 3 days ($p=0.08$), in 7 days ($p=0.08$), in 10 days ($p=0.05$), in 14 days ($p=0.05$); concentrations of IL-6 – in 6 hours ($p=0.08$), in 3 days ($p=0.08$), in 5 days ($p=0.08$), in 7 days ($p=0.08$), in 14 days ($p=0.05$). This finding requires more thorough research with higher statistical power.

Prospects of further research concern the development of a criterional complex of blood system reactions system forecasting in the conditions of inflammation and effects of substance P blocking.

REFERENCES:

1. Kinobe, R. T., & Miyake, Y. (2020). Evaluating the anti-inflammatory and analgesic properties of maropitant: A systematic review and meta-analysis. *Veterinary Journal* (London, England: 1997), 259–260, 105471. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105471>
2. Graefe, S., & Mohiuddin, S. S. (2020). Biochemistry, Substance P. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554583/>
3. Rychlik, A., Gonkowski, S., Makowska, K., Kaczmar, E., & Calka, J. (2020). Changes in the expression of substance P in nerve fibres of the colonic mucosa in dogs suffering from inflammatory bowel disease. *Acta Veterinaria Hungarica*, 68(2), 154–159. <https://doi.org/10.1556/004.2020.00028>
4. Hodo, T. W., de Aquino, M. T. P., Shimamoto, A., & Shanker, A. (2020). Critical Neurotransmitters in the Neuroimmune Network. *Frontiers in Immunology*, 11, 1869. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01869>
5. Cheadle, C. E., Glencross, D. A., & Hawrylowicz, C. M. (2020). Allergens TRP a swITCH to Initiate Type 2 Immunity. *Immunity*, 53(5), 900–902. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2020.10.019>
6. Sánchez, P., Sánchez, M. L., Mangas, A., Aguilar, L. Á., & Coveñas, R. (2020). A close neuroanatomical relationship between the enkephalinergic (methionine-enkephalin) and tachykininergic (substance P) systems in the alpaca diencephalon. *Folia Histochemica Et Cytobiologica*, 58(2), 135–146. <https://doi.org/10.5603/FHC.a2020.0007>
7. Schreiber, U., Engl, C., Bayer, M., & König, S. (2020). Labeled substance P as a neuropeptide reporter substance for enzyme activity. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 178, 112953. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.112953>
8. Schreiber, U., Engl, C., Bayer, M., & König, S. (2020). Neuropeptide reporter assay for serum, capillary blood and blood cards. *MethodsX*, 7, 100985. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100985>
9. Feickert, M., & Burckhardt, B. B. (2020). Mass spectrometric studies on the peptide integrity of substance P and related human tachykinins in human biofluids. *Peptides*, 170458. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2020.170458>
10. Feickert, M., & Burckhardt, B. B. (2020). Validated mass spectrometric assay for the quantification of substance P and human hemokinin-1 in plasma samples: A design of experiments concept for comprehensive method development. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 191, 113542. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113542>
11. Klymenko, M., Tatarko, S., Shevchenko, O., & Hubina-Vakulyk, G. (2007). Substantiation of the model of chronic (secondary chronic) inflammation. *Experimental and Clinical Medicine*, 2, 24–28.
12. Lim, R., Morrill, J. M., Prushik, S. G., Reed, K. L., Gower, A. C., Leeman, S. E., Stucchi, A. F., & Becker, J. M. (2008). An FDA Approved Neurokinin-1 Receptor Antagonist is Effective in Reducing Intraabdominal Adhesions when Administered Intraperitoneally, But Not Orally. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 12(10), 1754–1761. <https://doi.org/10.1007/s11605-008-0634-4>

TECHNICAL SCIENCES

EFFECTIVE TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR THE PREPARATION OF ADDITIONAL WATER FOR BOILERS OF MEDIUM AND HIGH PRESSURE AND HEATING SYSTEMS

Aliyeva O.

PhD, Senior Researcher of the Research Laboratory "Problems of Energy" of Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОДГОТОВКИ ДОБАВОЧНОЙ ВОДЫ КОТЛОВ СРЕДНЕГО, ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЙ И ТЕПЛОСЕТЕЙ

Алиева О.О.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Проблемы энергетики» Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности, г.Баку.

DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-40-47](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-40-47)

Abstract

The article is devoted to the issues of increasing the efficiency of the reverse osmosis method of desalination of water in the Caspian Sea in order to obtain purified water for the needs of thermal power plants and boiler houses. Functional diagrams for the preparation of additional water for boilers of thermal power plants from sea based on the reverse osmosis method are presented. It is shown that a radical increase in the efficiency of the reverse osmosis desalination process can be achieved by preventing the precipitation of calcium deposits on membranes using economical and environmentally friendly technologies for preliminary seawater purification

Аннотация

Статья посвящена вопросам повышения эффективности обратноосмотического метода опреснения воды Каспийского моря с целью получения очищенной воды для нужд тепловых электрических станций и котельных. Представлены функциональные схемы для подготовки добавочной воды котлов ТЭС из морской на основе обратноосмотического метода. Показано, что радикальное повышение эффективности процесса обратноосмотического опреснения может быть достигнуто путем предотвращения выпадения кальциевых отложений на мембранах с использованием экономичных и экологических чистых технологий предварительной очистки морской воды.

Keywords: reverse osmosis desalination, boilers, cationization, permeate.

Ключевые слова: обратноосмотическое опреснение, котлы, катионирование, пермеат.

К основным потребителям воды на приморских ТЭС и предприятий промэнергетики относятся котлы различных параметров, испарители, теплосети и системы охлаждения. Вполне очевидно, что при анализе перспектив подготовки воды для указанных систем из воды Каспийского моря на основе метода обратного осмоса необходимо исходить как из технологических особенностей этого метода, так и требований к качеству воды для указанных потребителей.

Ниже приведены нормативные данные к качеству питательной воды как для энергетических котлов с естественной циркуляцией с давлением от 3,9-13,8 МПа, так и для прямоточных котлов, работающих на сверхкритических параметрах [1].

Качество питательной воды для котлов с естественной циркуляцией должно удовлетворять следующим нормам. Для энергетических котлов с давлением 3,9, 9,8, 13,8 МПа в зависимости от используемого вида топлива жесткость питательной воды должна составлять 5-10; 1-3 и 1 мкг-экв/л, соответственно.

Основные показатели качества питательной воды прямоточных котлов приводятся ниже:

Общая жесткость, мкг-экв/л..... ≤ 0,2

Соединение натрия, мкг-экв/л.....	≤5
Кремниевая кислота, мкг/л.....	≤15
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см.....	≤0,3

Для барабанных котлов с давлением 13,8 МПа и котлов, работающих на сверхкритических параметрах, нормы ПТЭ устанавливаются к качеству обессоленной добавочной воды, основные из которых являются:

Общая жесткость, мкг-экв/л.....	0,2/1*
Содержание кремниевой кислоты, мкг/л.....	20/100
Содержание соединений натрия, мкг/л.....	15/80
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см.....	0,5/2,0

* Примечание: в числителе для прямоточных котлов, в знаменателе для котлов с естественной циркуляцией давлением 13,8 МПа.

Следует отметить, что эти нормы взяты на основании ПТЭ Российской Федерации, и в настоящее время являются базовым материалом для энергетики Азербайджанской Республики. Вместе с

тем, в последние годы в связи с интенсивным развитием энергетической отрасли в Республике осваиваются котлы различных параметров, поставляемые иностранными фирмами. Нормативное качество питательной и добавочной воды этих котлов, как правило, устанавливаются фирмами поставщиками. В качестве примера можно рассмотреть газотурбинную установку Бакинской ТЭЦ-1, парогазовую установку на электрической станции «Shimal», строящиеся на ЭС «Shimal» и в г.Сумгаит. Основные показатели качества питательной воды котлов-утилизаторов ($P=2$ МПа, $t=289^{\circ}\text{C}$) Бакинской ТЭЦ-1 следующие:

Общая жесткость, мкг-экв/л.....	≤ 5
Щелочность, мкг-экв/л.....	1,1-2,1
Электрическая проводимость, мкСм/см.....	≤ 450
Кислород, мкг/л.....	10
Железо, мкг/л.....	≤ 100
pH.....	9,1 $\pm$ 0,1

Для трехбарабанного котла-утилизатора энергоблока «Shimal» с давлением в барабанах 0,4; 3,4; 10,3 МПа по данным фирм изготовителя основные показатели качества питательной воды должны быть следующие:

Электрическая проводимость, мкСм/см.....	$\leq 0,5$
pH.....	9-9,5
Кремниевая кислота, мкг/л.....	≤ 20
Кислород, мкг/л.....	≤ 7
Гидразин, мкг/л.....	20-60
Железо, мкг/л.....	≤ 30
Медь, мкг/л.....	≤ 3
Нефтепродукты, мг/л.....	$\leq 0,1$

Для этих котлов нормируются также показатели качества добавочной воды: удельная электрическая проводимость 0,1 мкСм/см; pH 6-8; $\text{SiO}_2 \leq 10$ мкг/л.

Одним из основных потребителей воды на ТЭС являются теплосети. Безнакипная работа этих систем зависит от так называемого карбонатного индекса питательной воды (произведение кальциевой жесткости на общую щелочность) [1,2]. В зависимости от типа теплосети (с водогрейными котлами или сетевыми подогревателями, открытые, закрытые), а также температурного режима работы, нормативное значение карбонатного индекса добавочной воды изменяется в широких пределах $0,5 \div 4$ (мг-экв/л)² [1].

Исходя из этих норм, а также результатов исследований, ниже предлагаются функциональные технологические схемы подготовки добавочной воды котлов среднего давления (СД) и высокого давления (ВД) и подпиточной воды теплосетей, основанные на оптимальном сочетании обратноосмотического и ионообменного методов обработки.

При разработке этих технических решений исходим из того, что для выработки небольших количеств добавочной воды (по разным оценкам $20 \div 30$ м³/ч) проблему предотвращения кальциевых отложений на мембранах целесообразно решать на основе способов подкисления и ингибирования антинакипинами. Предполагается, что работа установок небольшой производительности будет характеризоваться сбросом малых количеств сторонних реагентов (антинакипинов) с минимальным экологическим ущербом для морской акватории. Работа установок большой производительности будет характеризоваться большим экологическим ущербом. Для таких установок проблему предотвращения кальциевых отложений целесообразно решать на основе метода ионообменной предочистки. При этом важным элементом рассматриваемых схем обработки является стадия Na-катионитного умягчения пермеата с использованием концентратов ООУ в качестве регенерата для установок небольшой производительности, и использование этого же концентрата как для умягчения пермеата, так и при обработке исходной морской воды в режиме Mg-Na-катионирования.

С экологической точки зрения другим важным элементом предложенных схем подготовки добавочной воды котлов СД и ВД является утилизация отмывочных вод стадии катионитного умягчения пермеата путем их рециркуляции в исходную морскую воду или подачи в теплосеть.

Во всех рассматриваемых схемах, предусматривается предварительная обработка морской воды катионным флокулянт с последующим механическим фильтрованием, ингибирование органических отложений и дехлорирование воды перед поступлением на мембранный модуль. Эти общие для всех вариантов стадии не указаны на приводимых ниже схемах.

Таким образом, для подготовки добавочной воды котлов вышеуказанных параметров на ТЭС из морской на основе обратноосмотического метода, наибольший практический интерес представляют функциональные схемы обработки, приведенные на рис.1 [3]:

- подкисление + антинакипин + 1 ступенчатая ООУ + умягчение пермеата (для котлов СД с небольшим добавком) (рис.1а);

- подкисление + антинакипин + 2 ступенчатая ООУ + умягчение пермеата (для котлов ВД с небольшим добавком) (рис.1б).

- Na-катионирование + подкисление + 1 ступенчатая ООУ + умягчение пермеата (для котлов ВД с большим добавком) (рис.1в);

- Mg-Na-катионирование + 1 ступенчатая ООУ + умягчение пермеата (для котлов СД и ВД с большим добавком) (рис. 1г);

- Na-катионирование + подкисление + 2 ступенчатая ООУ + умягчение пермеата (для котлов ВД с большим добавком) (рис.1д);

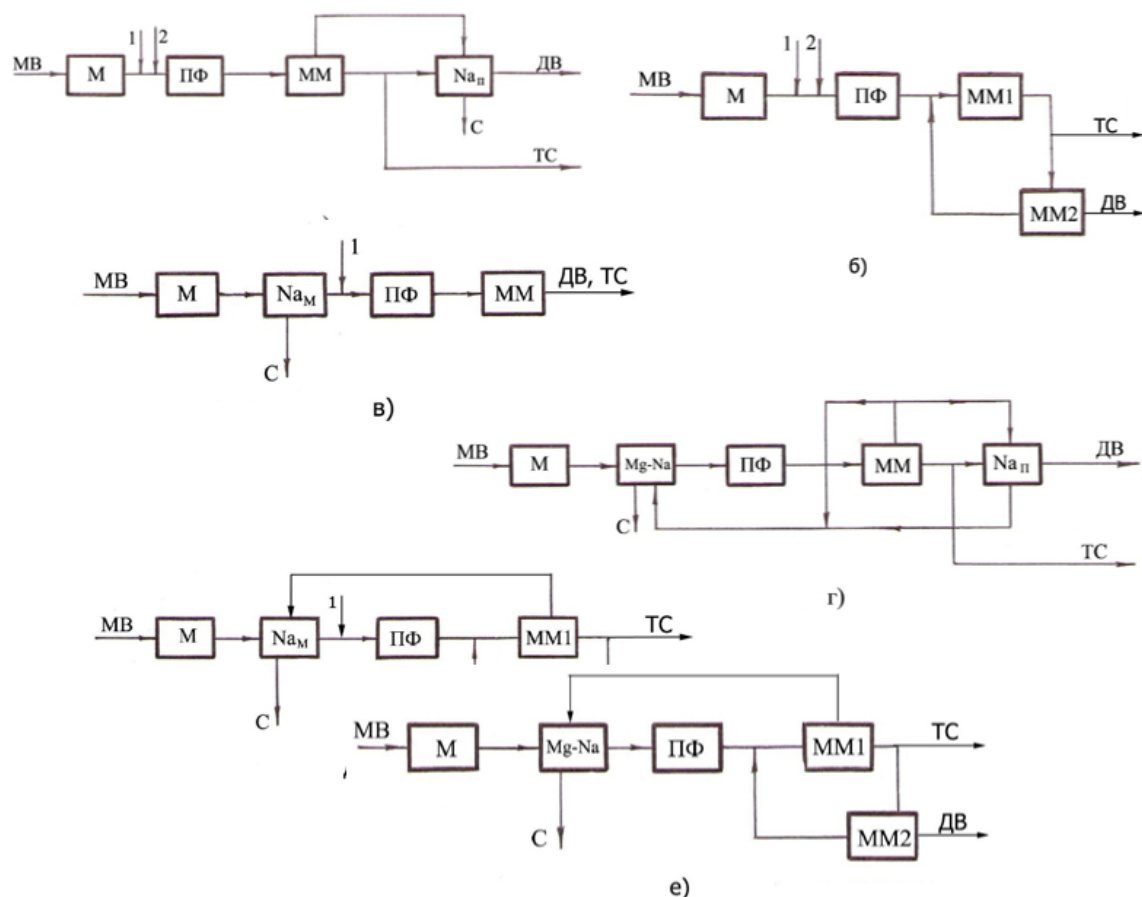


Рис.1. Функциональные схемы подготовки добавочной воды котлов СД и ВД и теплосетей из морской на основе обратноосмотического и ионообменного методов обработки

МВ – морская вода; М – механический фильтр; ПФ – патронный фильтр; MM1, MM2 – мембранные модули; Na_М – Na-катионитный фильтр морской воды; Na_П – Na-катионитный фильтр пермеата; Mg-Na – Mg-Na-катионитный фильтр морской воды; ДВ – добавочная вода; ТС – теплосеть; С – сток; 1 – кислота; 2 – антинакипин.

- Mg-Na-катионирование + 2 ступенчатая ООУ + умягчение пермеата (для котлов ВД с большим добавком) (рис.1е);

Результаты расчетов функциональной схемы, приведенной на рис.1а представлены в табл.1. В

расчетах ориентировались на индекс Ланжелье, который более широко применяется в практике опреснения, а также на современные мембраны с величиной R=0,997. При этом производительность ООУ принималась 25 м³/ч. Расчеты выполнены по программе «ROSA» [4].

Таблица 1

Результаты расчетов схемы обработки морской воды по рис.1а.

Показатели	Морская вода		Концентрат ООУ,г/л	Пермеат ООУ	
	До подкисл.	После под- кисл.		До умягчения	После умягче- ния
	мг-экв/л			мкг-экв/л	
Na ⁺	137,9	137,9	10,52	1018,0	1078,0
Mg ²⁺	60,8	60,8	2,43	50,8	5,0
Ca ²⁺	16,0	16,0	1,0	13,0	0
HCO ₃ ⁻	4,0	3,13	0,62	33,1	33,1
Cl ⁻	141,8	141,8	16,7	1011,0	1011,0
SO ₄ ²⁻	68,0	70,49	11,28	46,3	46,3
CO ₂ [*]	0,94	20,1	22,8	20,4	20,4
C ^{**}	12,75	12,754	42,36	0,064	0,064
pH	8,2	6,67	6,98	5,03	5,03
Расходы	35,7	35,7	10,7	25,0	25,0

Примечание: CO₂^{*} – мг/л; C^{**} – солесодержание, г/л.

Как видно из результатов расчета, одноступенчатым обратноосмотическим опреснением достигается снижение жесткости морской воды до 63,8 мкг-экв/л против нормируемого по [1] 5-10 мкг-экв/л для котлов средних давлений.

Вместе с тем, предложенный способ умягчения пермеата с использованием концентрата ООУ в качестве регенерата позволяет снизить жесткость до требуемых 5 мкг-экв/л при практически нулевой составляющей кальциевой жесткости. Солеосодержание пермеата составило 64 мг/л. В связи со столь низким солеосодержанием воды, подаваемой на котлы СД следует отметить, что, как правило, такие котлы питаются умягченной пресной водой с солеосодержанием 300-500 мг/л, что в 4,7-7,8 раз больше солеосодержания умягченного пермеата, полученного из морской воды. Это обуславливает возможность снижения потерь продувочной воды и тепла с этой водой.

Полученный пермеат характеризуется кислой реакцией ($\text{pH} \sim 5$) и достаточно высоким содержанием свободной углекислоты (20 мг/л). Снижение агрессивных свойств добавочной воды может быть достигнуто в деаэрационных установках, традиционно используемых в тепловых схемах ТЭС. Наряду с добавочной водой котлов СД по данной схеме может быть получена подпиточная вода теплотрассы с очень низкой величиной карбонатного индекса 0,2 (мг-экв/л)², что надежно исключает опасность карбонатного накипеобразования. При этом отпадает необходимость в стадии умягчения пермеата,

однако для устранения агрессивных в коррозионном отношении свойств этой воды требуется ее дополнительная декарбонизация.

Результаты расчета функциональной схемы, приведенной на рис.1б, представлены в таблице 2. В этих расчетах выход пермеата второй ступени принят 80-90%.

Согласно полученным данным (табл.2), пермеат второй ступени характеризуется жесткостью 1,3 мкг-экв/л при $\alpha_2=0,2$ и 1,6 мкг-экв/л при $\alpha_2=0,1$, что соответствует нормам качества питательной воды как котлов СД, так и ВД, поэтому в этом случае отпадает необходимость в умягчении пермеата. Что касается подпиточной воды теплотрассы, в этом качестве может быть использован, как пермеат первой ступени, так и концентрат второй ступени ООУ, для которого характерна величина карбонатного индекса 0,01-0,04 (мг-экв/л)² при солеосодержании 317-630 мг/л.

В последующих схемах предусматривается стадия предварительного умягчения морской воды Na – или Mg-Na – катионирования. Эти стадии обработки могут быть реализованы как в прямоточном, так и противоточном (двухпоточно противоточном) режимах регенерации катионита. Если ориентироваться на индекс Ланжелье, то требуется более глубокий уровень декальцирования морской воды, который может быть достигнут при противоточном катионировании. Поэтому в расчетно-аналитических исследованиях всех последующих функциональных схем исходим из состава катионированных вод характерных для противоточного режима.

Таблица 2

Результаты расчета второй ступени ООУ по схеме рис.1 б.

Показатели	После I ступени ООУ	После II ступени ООУ	
	Пермеат, мкг-экв/л	Пермеат, мкг-экв/л	Концентрат, мкг-экв/л
Mg^{2+}	50,8	$\frac{1,28}{1,01}$	$\frac{496,4}{249,9}$
Ca^{2+}	13	$\frac{0,33}{0,26}$	$\frac{127,0}{63,9}$
HCO_3^-	33,1	$\frac{0,84}{0,66}$	$\frac{323,5}{162,8}$
C^*	64,0	$\frac{1,63}{1,28}$	$\frac{629,5}{316,9}$
pH	5,03	4,72	5,88
Расход	25,0	22,5	2,5

Примечание: числитель $\alpha_2=0,1$; знаменатель $\alpha_2=0,2$, C^* - в мг/л

Другая особенность дальнейших расчетов связана с тем, что предварительное удаление ионов кальция катионированием позволяет радикально решить проблему кальциевых отложений, и как

следствие, повысить солеосодержание концентрата до уровня 50-55 г/л.

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Результаты расчетов функциональных схем по рис.1(в,г)

Показатели	Na-катионированная вода			Mg-Na-катионированная вода			
	Перед ООУ, мг-экв/л	Концентрат, г/л	Пермеат мкг-экв/л	Перед ООУ мг-экв/л	Концентрат, г/л	Пермеат мкг-экв/л	Умягченный пермеат мкг-экв/л
Na ⁺	212,7	$\frac{19,50^{**}}{16,25}$	$\frac{1343,5}{1173,5}$	$\frac{183,927}{183,8}$	$\frac{16,8}{14,03}$	$\frac{1298,7}{1136,9}$	$\frac{1319,9}{-}$
Mg ²⁺	1,4	$\frac{0,067}{0,056}$	$\frac{0,83}{0,83}$	$\frac{30,8}{31,2}$	$\frac{1,5}{1,25}$	$\frac{24,2}{20,8}$	$\frac{3}{-}$
Ca ²⁺	0,5	$\frac{0,040}{0,033}$	$\frac{0,5}{0,5}$	0,09	$\frac{0,007}{0,006}$	$\frac{0,0}{0,0}$	$\frac{0,0}{-}$
HCO ₃ ⁻	$4\left(\frac{3,3}{3,5}\right)^*$	$\frac{0,88}{0,78}$	$\frac{40}{35,4}$	4	$\frac{0,94}{0,78}$	$\frac{42,13}{37,0}$	$\frac{42,13}{-}$
CO ₂ [*] , мг/л	$1\left(\frac{8,31}{11,4}\right)$	$\frac{30}{1,9}$	$\frac{23,2}{13,1}$	1,1	$\frac{8,31}{6,59}$	$\frac{2,59}{2,33}$	$\frac{2,59}{-}$
C, г/л	13,5	$\frac{53,73}{44,81}$	$\frac{0,08}{0,07}$	13,2	$\frac{52,4}{43,7}$	$\frac{0,08}{0,07}$	$\frac{0,08}{-}$
pH	8,2(7,2)	$\frac{7,2}{7,3}$	$\frac{5,2}{5,4}$	8,2	$\frac{7,8}{7,8}$	$\frac{6,2}{6,2}$	$\frac{6,17}{-}$

Примечание: * - в скобках после подкисления, HCO₃ в мг-экв/л, CO₂ в мг/л

** - числитель α=0,25, знаменатель α=0,3

Как видно из таблицы, обратноосмотическое опреснение Na-катионированной морской воды позволяет получать пермеат с жесткостью 1,3 мкг-экв/л, с содержанием около 80 мг/л. Вполне очевидно, что качество этой воды соответствует нормам ПТЭ для питательной воды котлов СД и ВД, поэтому нет необходимости в дальнейшем умягчении пермеата. Следует также отметить, что снижение остаточной магниевой и кальциевой жесткости до указанных пределов надежно исключает опасность выпадения сульфата кальция: степень насыщения концентрата составляет 5,6-7%. Однако сохраняется необходимость в дозировке небольшого количества кислоты (0,3-0,5 мг-экв/л) для исключения карбонатных отложений. Подкисление обуславливает наличие свободной углекислоты в пермеате 13,1-23,2 мг/л, что делает необходимым дополнительную декарбонизацию.

При противоточном Mg-Na-катионировании морской воды достигаются такие остаточные концентрации кальция, при которых надежно исключается опасность выпадения как CaSO₄, так и CaCO₃ на мембранах ООУ. Однако в этом случае, в отличие от режима Na-катионирования, пермеат харак-

теризуется жесткостью 20,8-24,2 мкг-экв/л. Поэтому требуется Na-катионитное умягчение пермеата с использованием концентрата ООУ. Как видно из данной таблицы, остаточная жесткость умягченного пермеата снижается до 1-3 мкг-экв/л, что соответствует нормам ПТЭ. Другая особенность схем режима обратноосмотического опреснения с предварительным Mg-Na-катионированием заключается в том, что полученный пермеат характеризуется более низкой концентрацией свободной углекислоты (2,3-2,6 мг/л) и относительно высоким значением pH (6,2 против 5,2-5,4 при Na-катионировании). Это свидетельствует о меньших коррозионных свойствах полученного пермеата.

Результаты расчетов вторых ступеней ООУ согласно рис.1(д,е), представлены в таблице 4.

Согласно полученным данным достигается практически нулевая жесткость пермеата второй ступени в режиме предварительного Na-катионитного умягчения. В режиме Mg-Na-катионитного умягчения пермеат второй ступени характеризуется остаточной жесткостью 0,5-0,6 мкг-экв/л, что в среднем в несколько раз меньше нормируемых значений жесткости питательной воды котлов СД и ВД.

Таблица 4

Результаты расчетов вторых ступеней ООУ для схем с предварительным катионированием.

Показатели	Na-катионирование			Mg-Na-катионирование		
	Пермеат после 1 ступени ООУ, мкг-экв/л	Пермеат 2 ступени ООУ, мкг-экв/л	Концентрат 2 ступени ООУ, мкг-экв/л	Пермеат после 1 ступени ООУ, мкг-экв/л	Пермеат 2 ступени ООУ, мкг-экв/л	Концентрат 2 ступени ООУ, мкг-экв/л
Na ⁺	1343,5	$\frac{33,98}{26,81}$	$\frac{13129,2}{6610,35}$	1298,7	$\frac{32,85}{25,92}$	$\frac{12691,4}{6389,3}$
Mg ²⁺	0,83	$\frac{0}{0}$	$\frac{8,11}{4,08}$	24,2	$\frac{0,61}{0,48}$	$\frac{236,8}{119,1}$
Ca ²⁺	0,5	$\frac{0}{0}$	$\frac{4,89}{2,46}$	0	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
HCO ₃ ⁻	40	$\frac{1,01}{0,80}$	$\frac{390,9}{196,8}$	42,13	$\frac{1,07}{0,84}$	$\frac{411,7}{207,3}$
Cl	1209	$\frac{30,58}{24,13}$	$\frac{11814,8}{5948,5}$	1202,8	$\frac{30,42}{24,00}$	$\frac{11754,2}{5918,0}$
SO ₄ ²⁻	101,04	$\frac{2,55}{2,02}$	$\frac{987,0}{496,9}$	78,75	$\frac{1,99}{1,57}$	$\frac{769,6}{387,46}$
C, мг/л	81,13	$\frac{2,051}{1,62}$	$\frac{792,8}{399,2}$	78,95	$\frac{2,00}{1,58}$	$\frac{511,4}{389,7}$

Примечание: числитель $\alpha_2 = 0,1$, знаменатель $\alpha_2 = 0,2$; $\alpha_1 = 0,25$.

Как в схемах Na- так и Mg-Na-катионирования, концентрат 2 ступени ООУ характеризуется низкими значениями карбонатного индекса при соле-содержании 390-800 мг/л, что позволяет рекомендо-вать их к использованию в качестве подпиточной воды теплосети.

Обобщая результаты аналитических исследо-ваний, предлагаются следующие технологические

схемы подготовки добавочной воды котлов СД и ВД и подпиточной воды теплосети рис.2 [5]. Для установок малой производительности, как было от-мечено выше, рекомендуется использовать метод предотвращения Са-отложений, основанный на подкислении и применении антинакипина с умяг-чением пермеата ООУ (рис. 2 а).

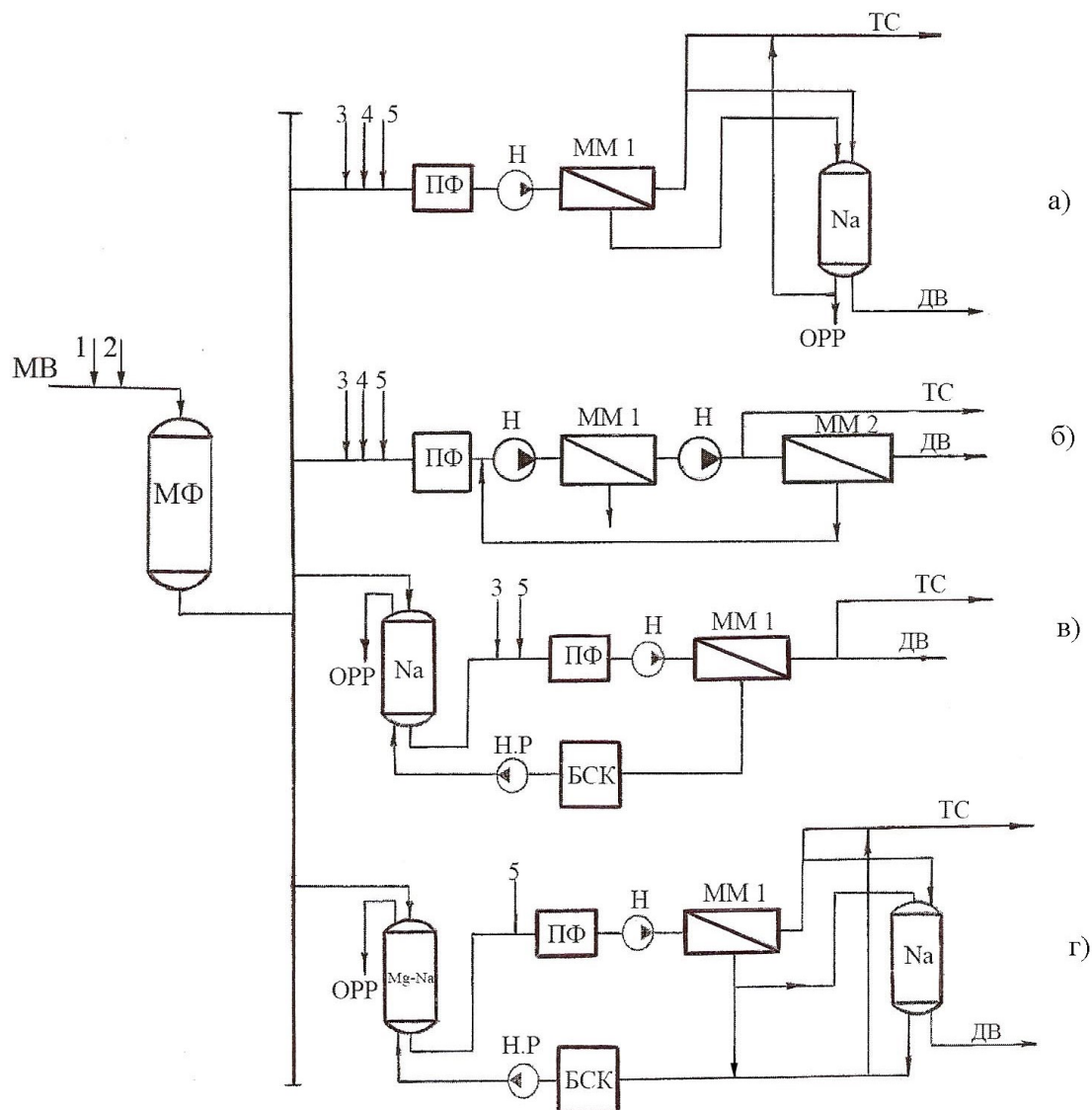


Рис. 2. Технологические схемы подготовки добавочной воды из морской для котлов среднего и высокого давлений и подпиточной воды теплосети

1 – катионный флокулянт; 2 – гипохлорит натрия; 3 – кислота; 4 – антинакипин;
5 – бисульфит натрия

Для установок большой производительности предлагаются экологически более совершенные схемы (рис.2 в,г), согласно которым исключается применение антинакипинов и проблема предотвращения Са-отложений решается методом катионирования морской воды с регенерацией катионита только концентратом ООУ.

Следует отметить, что согласно результатам расчета в режиме предварительного Mg-Na-катионирования (без подкисления) вода нормативного качества может быть получена по одному из двух вариантов:

- одноступенчатым опреснением с последующим Na-катионитным умягчением пермеата. При этом как Na- так и Mg-Na-катионитные фильтры регенерируются концентратом ООУ;

- двухступенчатым опреснением. При этом Mg-Na-катионитный фильтр регенерируется концентратом ООУ.

Сравнительный анализ этих вариантов показывает на предпочтительность первого (рис.2 г), так как затраты на вторую ступень ООУ значительно

превышают затраты на стадию катионитного умягчения пермеата.

Кроме того, Na-катионитные фильтры доумягчения пермеата несут очень низкую ионную нагрузку, следовательно, применяемые фильтры могут быть малого размера и, как следствие, данная стадия будет характеризоваться очень низкими затратами.

Согласно ПТЭ качество добавочной воды СД и ВД нормируется также по SiO_2 , концентрация которого в исходной морской воде составляет 2-2,5 мг/л. Расчеты показывают, что для снижения ее содержания до нормируемых величин на ООУ необходимо использовать мембраны с селективностью $R > 98\%$.

В заключении отметим, что расчеты качества пермеата ООУ, выполненные по программе «ROSA» дают лучшие качества пермеата по сравнению с расчетами, выполненными по общепринятым и широко практикуемым формулам [6-8]. Так расчеты по этим формулам показывают, что при использовании высокоселективных мембран с

$R \geq 99,5\%$ пермеат ООУ характеризуется жесткостью 0,39-0,65 мг-экв/л. Согласно экспериментным данным при умягчении такой воды с использованием собственных концентратов остаточная жесткость может быть снижена до 30-40 мкг-экв/л т.е. в среднем на 94%. Ясно, что в этом случае для получения воды нормативного качества для котлов ВД потребуется дорегенерация катионита незначительным количеством 8% NaCl. Однако по сравнению с традиционной схемой Na-катионирования расход поваренной соли будет уменьшен на 90-95%, что важно в экологическом и экономическом планах. Вполне очевидно, что окончательные показатели должны уточняться в процессе пуско-наладочных работ соответствующих систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, Москва, 15-е издание, РД 34.20.501-95 1996.
2. Лапатошкина Н.П., Сазонова Р.П. Водоподготовка и воднохимический режим тепловых сетей. М.: Энергоиздат, 1982, 202 с.

3. Абдуллаев К.М., Агамалиев М.М., Дадашева О.О. О перспективах подготовки добавочной воды котлов и теплосетей ТЭС из минерализованных вод с применением обратного осмоса // Проблемы энергетики, Баку, № 4, 2002, с.40 – 49.

4. Дадашова О.О. Расчет систем обратноосмотического опреснения морской воды по компьютерной программе «ROSA» // Экология и водное хозяйство, Баку, №3, 2007, с.10-15.

5. Abdullayev K.M., Dadashova O.O. Effective technologies of preparation of additional water of boilers TPP from sea water // Energy, ecology, economy. Ninth Baku International Congress, Baku, 7-9 June, 2007, p.104-108.

6. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М., Химия, 1978, 351с.

7. Карелин Ф.Н. Обессоливание воды обратным осмосом. М.: Стройиздат, 1988, 208с.

8. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир, 1999, 513с.

DETERMINATION OF LIMIT MODES OF 110 KV AND 220 KV NETWORK IN TEST SCHEME IEEE-14 CONSIDERING REPLACEMENT WITH EQUIPMENT USED IN RUSSIA

Vorontsov K.

a 6-th year student, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (MPEI), Moscow

Chemborisova N.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Electric Power System, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (MPEI), Moscow

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СЕТИ 110 КВ И 220 КВ В ТЕСТОВОЙ СХЕМЕ IEEE-14 С УЧЕТОМ ЗАМЕНЫ НА ОБОРУДОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ В РОССИИ

Воронцов К. К.

студент 6-го курса, Национальный исследовательский университет "Московский энергетический институт" (МЭИ), Москва

Чемборисова Н. Ш.

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроэнергетических систем, Национальный исследовательский университет "Московский энергетический институт" (МЭИ), Москва

DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-47-54](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-47-54)

Abstract

This article describes the limit modes of the test circuit IEEE-14 taking into account the replacement of transformers and power lines with equipment used in Russia. Various weighting paths are presented to search for limit modes in 110 kV and 220 kV networks. The coefficients of the reserve of static aperiodic stability in terms of active power and voltage in the load nodes for normal and post-accident circuits of the 220 kV network are determined.

Аннотация

В данной статье рассматриваются предельные режимы тестовой схемы IEEE-14 с учетом замены трансформаторов и линий электропередачи на оборудование, используемое в России. Представлены различные траектории утяжеления для поиска предельных режимов в сетях 110 кВ и 220 кВ. Определяются коэффициенты запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности и по напряжению в узлах нагрузки для нормальной и послеаварийных схем сети 220 кВ.

Keywords: mode, network, weighting, power flow, coefficient of the reserve

Ключевые слова: режим, сеть, утяжеление, переток мощности, коэффициент запаса

Введение. Определение предельного режима энергетической системы - это основополагающий этап при определении устойчивости, в частности при определении максимально-допустимых перетоков контролируемого сечения и определения коэффициентов запаса статической устойчивости по активной мощности и по напряжению. Вычисление предельного режима выполняют:

1) при управлении и планировании электрических режимов электроэнергетических систем (ЭЭС);

2) когда осуществляется планирование развития энергосистемы или ее проектирование;

3) когда осуществляется проектирование возможного строительства, реконструкция объектов электросетевого хозяйства классом напряжения 110 кВ и выше, объектов по производству электрической энергии, технологическом присоединении указанных объектов электроэнергетики к электрическим сетям;

4) когда осуществляется технологическое присоединение к электрическим сетям объектов электроэнергетики и энергопринимающих устройств

потребителей электрической энергии, технические условия на технологическое присоединение которых подлежат согласованию с субъектом оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, и проектировании строительства (реконструкции) указанных объектов электроэнергетики и энергопринимающих устройств;

5) когда осуществляется вывод из эксплуатации объектов электросетевого хозяйства классом напряжения 110 кВ и выше, объектов по производству электрической энергии [1, С. 2].

Важными показателями, которые определяются на основе полученных данных по расчетам режимов, являются коэффициенты запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в контролируемых сечениях и коэффициенты запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки. Минимально допустимые величины данных коэффициентов должны соответствовать следующим требованиям [1, С. 23]:

Таблица 1

Минимально допустимые величины коэффициентов запаса

№	Электроэнергетический режим энергосистемы	$K_{P, min}$	$K_{U, min}$
1	Нормальный	0,2	0,15
2	Послеаварийный	0,08	0,1

Для определения коэффициента запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении K_P , необходимо воспользоваться следующей формулой (1):

$$K_P = \frac{P_{np} - (P + \Delta P)}{P_{np}}, \quad (1)$$

где P_{np} - предельный по статической аperiodической устойчивости переток активной мощности в контролируемом сечении, МВт; P - переток активной мощности в контролируемом сечении в рассматриваемом режиме, МВт; ΔP_{HK} - амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности в контролируемом сечении, МВт, которая определяется по формуле (2):

$$\Delta P_{HK} = K \cdot \sqrt{\frac{P_{n1} \cdot P_{n2}}{P_{n1} + P_{n2}}}, \quad (2)$$

где P_{n1} , P_{n2} - активная мощность потребления энергосистемы (части энергосистемы, совокупности энергосистемы) с каждой из сторон контролируемого сечения, МВт; K - коэффициент, характеризующий способ регулирования перетока активной мощности в контролируемом сечении, который может быть равен:

1) 1,5 - при оперативном (по диспетчерской команде диспетчерского персонала субъекта оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике) регулировании перетока активной мощности в контролируемом сечении;

2) 0,75 - при автоматическом регулировании или ограничении перетока активной мощности в контролируемом сечении.

Для определения коэффициента запаса статической устойчивости по напряжению в узле нагрузки K_U пользуются формулой (3):

$$K_U = \frac{U - U_{kp}}{U_{kp}}, \quad (3)$$

где U - напряжение в узле нагрузки в рассматриваемом режиме, кВ; U_{kp} - критическое напряжение в узле нагрузки, кВ. В случае отсутствия информации от потребителя электрической энергии величину критического напряжения в узлах нагрузки 110 кВ и выше следует принимать равной (4) [1, С. 7-9]:

$$U_{kp} = 0,7 \cdot U_{ном}. \quad (4)$$

Кроме того, обычно проверяются значения токов в ветвях схемы.

Цель исследования. В связи с достаточным количеством вариантов утяжеления и ограничений по мощности, напряжению необходима методика формализованного выбора вида и места утяжеления для оценки коэффициентов запаса в наиболее тяжелых режимах.

Выбор расчетного метода и схемы. В расчетах и при анализе режимов, оценке их статической устойчивости часто используют различные тестовые схемы, которые имея достаточную наглядность и адекватность, являются компактными и удобными для качественной и количественной оценки статической устойчивости, разрабатываемых методов расчета и анализа режимов. В представленной работе будет анализироваться схема IEEE-14, в которой будут определяться предельные режимы сети 110 кВ, 220 кВ, соответствующие коэффициенты

запаса статической устойчивости по активной мощности и по напряжению, а также будет показано распределение активной мощности в сети 110 и 220 кВ. Также необходимо отметить, что в схеме параметры линий электропередачи и трансформаторов и автотрансформаторов были заменены согласно [2, С. 30-34] на российские аналоги, позволяющие получить параметры режима достаточно близкие к

полученным на тестовой схеме IEEE-14 [3, С. 87-88, 250]. Такая замена при неизменной конфигурации схемы и использовании принятого в российских энергосистемах оборудования позволило учесть поперечные проводимости, появившиеся в схеме замещения сети, и приблизить тестовую схему к российской реальности.

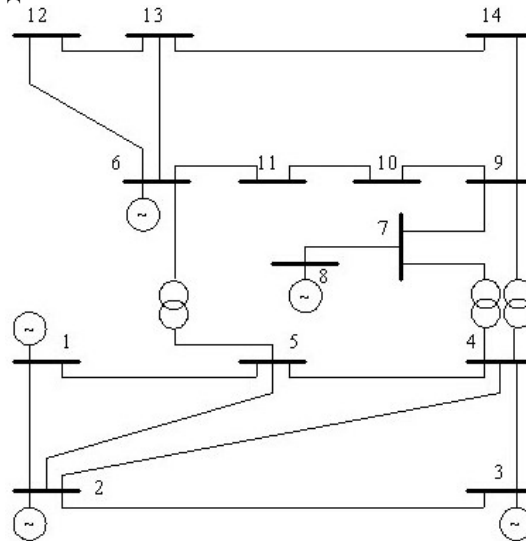


Рисунок 1 - Тестовая схема IEEE-14

Исходная схема содержит 8 линий 110 кВ, соединенных в "кольцо", 7 линий 220 кВ, соединенных в "кольцо", 4 трансформаторные ветви, 5 пунктов генерации мощности и 11 пунктов потребления мощности (кроме узлов 1, 7, 8) [4,5].

Для исследования предельных режимов и определения для них коэффициентов запаса необходимо проанализировать данную схему по перетокам в ветвях и уровням напряжения в узлах, т. е. поочередно рассмотреть сеть 110 кВ, а затем 220 кВ при различных режимах утяжеления. Так как для определения коэффициентов запаса часто выбирают наиболее загруженные режимы, то отбор видов утяжеления будет осуществляться с учетом этих случаев.

Представляющий наибольший интерес анализ участка схемы 110 кВ заключался в определении распределения активной мощности в сети 110 кВ за счет утяжеления исходного режима по одной из пяти траекторий, а также в определении режима, приводящего к наибольшей нагрузке линий 110 кВ.

В качестве траектории утяжеления рассматривался вариант пропорционального увеличения генерации узла 2 и нагрузки соответствующих узлов

в сети 110 кВ. В качестве первичной оценки рассмотрим следующие траектории утяжеления: увеличение выдачи мощности от узла 2 с поочередным увеличением нагрузки в узлах 14 (траектория 1), 13 (траектория 2), 12 (траектория 3), 11 (траектория 4) 10 (траектория 5). Условно обозначение траекторий может быть записано в виде:

- 1) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 14
- 2) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 13
- 3) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 12
- 4) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 11
- 5) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 10

Рассматривать утяжеление узлов 9 и 6 не имеет смысла, так как на распределение мощности в сети 110 кВ увеличение нагрузки в этих узлах не повлияет.

Результаты предварительной оценки отобразим в таблице 2.

Таблица 2

Предельные режимы при оценивании сети 110 кВ

По условию статической устойчивости в нормальном режиме						
Ветви	Исходный режим, МВт	Траектория / Перетоки в предельном режиме, МВт				
		1	2	3	4	5
6-11	9,363	12,01	-12,44	-17,94	176,76	126,07
6-12	12,767	71,95	92,22	116,69	1,64	18,56
6-13	11,93	71,78	92,68	71,89	0,52	17,76
9-10	3,785	1,28	26,43	32,57	121,47	162,13
9-14	10,823	155,97	122,28	112,06	34,23	-0,45
10-11	-5,262	-7,83	16,8	22,61	98,8	-100,4
12-13	6,576	59,83	76,27	-124,1	-4,37	12,19
13-14	4,305	108,88	-87,22	-80,45	-17,85	15,5
5-6	44,707	166,74	183,64	181,71	190,05	175,44
4-7	4,099	19,45	18,6	18,12	19,33	19,95
7-9	4,106	19,44	18,58	18,11	19,3	19,93
4-9	39,257	167,09	159,45	155,8	165,72	171,15
По условию устойчивости нагрузки в нормальном режиме						
Ни в одном из режимов не достигнуто критическое значение напряжения $0,7 \cdot U_{ном}$						
По условию допустимой токовой загрузки элементов сети в нормальном режиме						
6-11	9,363	17,9	9,7	7,9	79,8	67,0
6-12	12,767	40,8	43,6	52,0	15,8	20,6
6-13	11,93	40,1	43,0	36,5	14,6	19,5
9-10	3,785	15,2	16,9	18,5	49,4	77,6
9-14	10,823	82,9	61,5	57,2	28,4	17,4
10-11	-5,262	11,5	2,4	1,8	32,1	59,8
12-13	6,576	39,5	43,1	49,1	8,5	14,5
13-14	4,305	27,3	14,6	12,7	0,6	5,7
5-6	44,707	99,8	99,5	99,7	99,3	99,4
4-7	4,099	9,5	8,6	8,5	8,6	9,7
7-9	4,106	13,3	11,9	11,7	11,9	13,6
4-9	39,257	92,9	83,7	82,7	84,0	94,6

Из результатов видно, что при утяжелении узлов 12, 13 и 14 количество линий, токовая загрузка которых больше 30%, равно 4, а при утяжелении узлов 10 и 11 - 3. Это означает, что в случаях 1-3 количество элементов сети, задействованных в распределении активной мощности, больше. Следовательно в дальнейшем действия, связанные с увеличением нагрузки в узле 10 и узле 11, прекращаем и будем рассматривать исключительно узлы 12, 13 и 14.

Расчеты и результаты.

Теперь необходимо определиться с предельным режимом в сети 110 кВ. Зная

результаты предыдущего этапа, добавим еще пару траекторий утяжеления, которые будут связывать сразу несколько узлов нагрузки 110 кВ, в которых будет происходить изменения потребляемой мощности. Это:

- 6) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 13 и 14;
- 7) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 12 и 14;
- 8) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 12 и 13;
- 9) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 12, 13 и 14.

Результаты расчетов представим в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение траекторий утяжеления для сети 110 кВ

По условию статической устойчивости в нормальном режиме					
Ветви	Исходный режим, МВт	Траектория / Перетоки предельном режиме, МВт			
		6	7	8	9
6-11	9,363	-0,5	-4,26	-15,86	-7,08
6-12	12,767	84,18	100,95	107,01	98,16
6-13	11,93	84,48	76,67	83,85	82,43
9-10	3,785	13,71	17,65	30,25	20,61
9-14	10,823	142,93	143,95	120,13	136,41
10-11	-5,262	4,52	8,34	20,42	11,22
12-13	6,576	70,46	-38,19	-28,9	0,78
13-14	4,305	11,96	15,61	-85,36	-20,47
5-6	44,707	179,25	184,65	186,42	184,55
4-7	4,099	19,3	19,94	18,77	19,36
7-9	4,106	19,26	19,89	18,73	19,36
4-9	39,257	166,67	171,14	161	166,94
По условию устойчивости нагрузки в нормальном режиме					
Ни в одном из режимов не достигнуто критическое значение напряжения $0,7 \cdot U_{ном}$					
По условию допустимой токовой загрузки элементов сети в нормальном режиме					
Ветви	Исходный режим, МВт	Траектория / Загрузка, % (Переток в пред. режиме, МВт)			
		6	7	8	9
6-11	9,363	13,1 (7,37)	11,9 (6,69)	8,8 (4,42)	10,9 (6,04)
6-12	12,767	41,9 (29,1)	46,6 (32,34)	48,0 (33,44)	45,8 (31,89)
6-13	11,93	41,3 (28,59)	38,1 (26,3)	39,9 (27,71)	40,0 (27,73)
9-10	3,785	1,4 (5,71)	16,1 (6,39)	17,8 (8,65)	16,5 (7,03)
9-14	10,823	70,9 (39,84)	68,8 (38,75)	59,5 (33,3)	66,9 (37,59)
10-11	-5,262	6,3 (-3,33)	5,2 (-2,66)	1,8 (-0,41)	3,9 (-2,02)
12-13	6,576	41,0 (22,47)	9,2 (-4,34)	4,8 (-1,89)	10,3 (5,25)
13-14	4,305	5,1 (6,32)	5,9 (7,33)	13,8 (-17,37)	1,5 (-1,59)
5-6	44,707	99,2 (76,06)	99,5 (76,33)	99,9 (76,57)	99,9 (76,67)
4-7	4,099	9,0 (7,06)	8,9 (7,01)	8,5 (6,71)	8,9 (6,96)
7-9	4,106	12,5 (7,06)	12,4 (7,01)	11,8 (6,71)	12,3 (6,96)
4-9	39,257	87,6 (67,52)	87,0 (67,15)	83,2 (64,26)	86,4 (66,66)

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что утяжеление 1 узла нагрузки 110 кВ приводит к большей загрузке ЛЭП (например, при утяжелении узла 14 поток мощности в сети 110 кВ по условию допустимой токовой загрузки - 176,99 МВт, а при утяжелении узла 13 и 14 - 142,73 МВт). Значит режим, в котором загрузка ЛЭП 110 кВ будет максимально возможной, достигается путем увеличения нагрузки одного узла 110 кВ. Среди представленных выше траекторий

именно траектория 1) $\uparrow$ генерации узла 2, $\uparrow$ нагрузки узла 14, оказывает самое большое влияние на загрузку ЛЭП 110 кВ, а значит на значение перетока контролируемого сечения 110 кВ.

После того, как был установлен предельный режим для сети 110 кВ, необходимо посмотреть, как этот режим будет сказываться на сети 220 кВ. Для этого представим соответствующие расчеты в таблице 4.

Таблица 4

Влияние предельного режима в сети 110 кВ на режим в сети 220 кВ

По условию статической устойчивости в нормальном режиме							
Сеть 110 кВ							
Ветви	Исходный режим, МВт	Предельный режим, МВт	Ветви	Исходный режим, МВт	Предельный режим, МВт		
6-11	9,363	12,01	12-13	6,576	59,83		
6-12	12,767	71,95	13-14	4,305	108,88		
6-13	11,93	71,78	5-6	44,707	166,74		
9-10	3,785	1,28	4-7	4,099	19,45		
9-14	10,823	155,97	7-9	4,106	19,44		
10-11	-5,262	-7,83	4-9	39,257	167,09		
Сеть 220 кВ							
Ветви	Исходный режим, МВт	Предельный режим, МВт	Ветви	Исходный режим, МВт	Предельный режим, МВт		
1-2	93,72	76,98	2-5	-8,54	55,66		
1-5	130,39	200,78	3-4	-6,68	63,82		
2-3	87,8	159,49	4-5	-66,98	-75,47		
2-4	31,58	97,49					
По условию устойчивости нагрузки в нормальном режиме							
Ни в одном из режимов не достигнуто критическое значение напряжения $0,7 \cdot U_{ном}$							
По условию допустимой токовой загрузки элементов сети в нормальном режиме							
Сеть 110 кВ							
Ветви	Исходный режим, МВт	Предельный режим, МВт	Загр., %	Ветви	Исходный режим, МВт	Предельный режим, МВт	Загр., %
6-11	9,363	10	17,9	12-13	6,576	21,47	39,5
6-12	12,767	28,07	40,8	13-14	4,305	34,18	27,3
6-13	11,93	27,5	40,1	5-6	44,707	76,57	99,8
9-10	3,785	3,12	15,2	4-7	4,099	7,47	9,5
9-14	10,823	46,73	82,9	7-9	4,106	7,47	13,3
10-11	-5,262	-5,92	11,5	4-9	39,257	71,4	92,9
Сеть 220 кВ							
Ветви	Исходный режим, МВт	Предельный режим, МВт	Загр., %	Ветви	Исходный режим, МВт	Предельный режим, МВт	Загр., %
1-2	93,72	84,46	24,7	2-5	-8,54	10,26	5,4
1-5	130,39	143,26	55,9	3-4	-6,68	11,78	5,3
2-3	87,8	106,49	42,4	4-5	-66,98	-66,5	26,5
2-4	31,58	48,98	19,6				

Согласно представленным расчетам можно сделать вывод о том, что предельный режим в сети 110 кВ мало сказывается на режиме работы сети 220 кВ (лишь одна линия из 7 загружена на 50 %), так как пропускная способность линий 220 кВ больше чем пропускная способность линий 110 кВ. Следовательно, предельный режим в сети 110 кВ будет ограничиваться элементами сети 110 кВ.

После установления режима работы сети 110 кВ необходимо рассмотреть режим работы сети 220 кВ. Для этого необходимо выполнить аналогичные мероприятия для исследования сети 220 кВ. Составим следующие траектории утяжеления для сети 220 кВ:

- 1.1) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 3;
- 1.2) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 4;
- 1.3) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 5;
- 1.4) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узлов 3 и 4;
- 1.5) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узлов 3 и 5;
- 1.6) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узлов 4 и 5;
- 1.7) ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узлов 3, 4 и 5.

Шаг утяжеления: на узле 2 прирост генерации на 120 МВт, на узле 3 (4, 5) прирост нагрузки на 120 МВт. Совместное утяжеление двух, трех узлов нагрузки приводит к делению суммарного утяжеления на количество узлов.

Отобразим вычисления в таблице 5.

Таблица 5

Определение предельного режима в сети 220 кВ

По условию статической устойчивости в нормальном режиме								
Ветви	Исход. режим, МВт	Траектория / Перетоки предельном режиме, МВт						
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
1-2	93,72	98,94	6,9	-265,01	31,148	-130,14	-167,03	-104,87
1-5	130,39	308,99	419,54	795,26	391,11	592,83	644,11	564,39
2-3	87,8	1065,0	579,94	399,04	968,47	1015,33	582,26	926,78
2-4	31,58	215,74	484,91	318,15	410,89	341,54	487,21	450,55
2-5	-8,54	67,17	220,94	639,23	178,85	434,14	493,59	394,88
3-4	-6,68	-379,37	455,16	290,22	27,72	-136,58	456,41	126,36
4-5	-66,98	-270,31	-498,95	443,38	-420	74,42	-93,04	-177,84
По условию устойчивости нагрузки в нормальном режиме								
Ни в одном из режимов не достигнуто критическое значение напряжения $0,7 \cdot U_{ном}$								
По условию допустимой токовой загрузки элементов сети в нормальном режиме								
Ветви	Исход. режим, МВт	Траектория / Загрузка, % (Переток в пред. режиме, МВт)						
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
1-2	93,72	25,1 (85,8)	16,4 (52,67)	10,6 (-15,02)	21,8 (73,78)	15,1 (47,1)	8,8 (1,21)	15,2 (47,79)
1-5	130,39	55,8 (143,29)	73,4 (187,25)	99,8 (253,15)	61,3 (157)	71,6 (183,11)	94,7 (240,61)	71,9 (183,82)
2-3	87,8	99,7 (252,05)	99,7 (251,64)	71,8 (181,97)	99,6 (251,92)	99,7 (252,48)	99,8 (252,4)	99,9 (252,88)
2-4	31,58	25,5 (64,15)	72,7 (184,22)	47,0 (119,39)	41,1 (104,23)	35,1 (89,09)	72,9 (184,99)	45,9 (116,57)
2-5	-8,54	4,8 (8,865)	29,4 (74,51)	75,4 (191,52)	12,6 (31,08)	30,5 (77,3)	65,3 (165,76)	30,4 (77,09)
3-4	-6,68	27,4 (-67,87)	61,8 (153,72)	34,6 (85,93)	4,5 (8,01)	10,2 (-22,46)	62,1 (154,47)	12,1 (27,94)
4-5	-66,98	37,5 (-94,15)	77,3 (-190,3)	39,9 (99,28)	50,5 (-126,1)	11,7 (-28,68)	21,3 (-51,29)	30,2 (-75,01)

Из результатов расчета видно, что линии 1-5 и 2-3 являются основными в распределении мощности в сети 220 кВ. При траекториях утяжеления 2) и 6) наблюдается значительная нагрузка ЛЭП (5 линий более 50%), что приводит к более сильной нагрузке линий 220 кВ. Суммарное значение мощности, передаваемое по линиям, при траектории 1.2 равно 1094,31 МВт, при траектории 1.6 - 1050,73 МВт. Значит при траектории утяжеления 1.2 происходит самая большая нагрузка линий 220 кВ. Однако если мы хотим рассмотреть сечение, которое будет включать в себя линии 2-3, 2-4 и 2-5, то в этом случае траектория 1.6 позволяет загрузить ЛЭП больше, а следовательно передать в предельном режиме больше мощности.

Заключение. В результате расчетов выяснено:

- 1) предельные режимы в нормальной схеме для 110 кВ будут обусловлены токовой нагрузкой трансформаторов;
- 2) значения напряжений в узлах нагрузки 110 кВ не снижаются ниже критических значений;
- 3) наибольшая нагрузка элементов сети 110 кВ достигается при траектории утяжеления - ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 14;
- 4) предельный режим в сети 110 кВ не оказывает влияния на режим в сети 220 кВ из-за большой пропускной способности линий 220 кВ;

5) предельные режимы в нормальной схеме для 220 кВ будут обусловлены токовой нагрузкой ЛЭП 220 кВ;

6) значения напряжений в узлах нагрузки 220 кВ не снижаются ниже критических значений;

7) наибольшая нагрузка элементов сети 220 кВ достигается при траектории утяжеления - ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 4;

8) в качестве траектории утяжеления, приводящей к большей нагрузке линий контролируемого сечения, выберем ↑ генерации узла 2, ↑ нагрузки узла 4 и 5.

Далее можно переходить к оценке нормальных, послеаварийных режимов в сети 220 кВ. Для их анализа воспользуемся коэффициентами запаса.

Приведем список рассматриваемых режимных ситуаций:

- 1) нормальная схема;
- 2) нормальная схема, отключение линии 2-3;
- 3) нормальная схема, отключение линии 2-4;
- 4) нормальная схема, отключение линии 2-3, отключение линии 2-4;
- 5) нормальная схема, отключение линии 2-3, отключение линии 2-5;
- 6) нормальная схема, отключение линии 2-4, отключение линии 2-5.

Отобразим результаты расчетов в таблице 6 и 7.

Таблица 6

Величины коэффициентов запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности

Коэффициент запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности				
Номер схемы	P, МВт	P _{пред} , МВт	K _з , %	K _{норм} , %
1	110,838	1563,067	92,478	20
2	96,912	1134,451	90,864	8
3	105,899	1235,194	90,882	8
4	68,930	603,683	87,467	8
5	88,406	726,970	86,913	8
6	105,710	816,872	86,235	8

Таблица 7

Величины коэффициентов запаса статической аperiodической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки

Коэффициент запаса статической аperiodической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки							
№ узла	U _{кр} , кВ	Номер схемы					
		1	2	3	4	5	6
		Коэффициент запаса по напряжению, %					
2	154	29,913	31,814	30,471	44,086	34,427	30,000
3	154	19,454	6,817	15,528	3,343	8,132	12,154
4	154	12,197	7,249	6,586	3,811	8,551	3,901
5	154	21,715	20,611	19,440	20,961	21,361	17,606
6	77	23,814	21,088	19,959	19,104	21,925	17,114
9	77	19,461	14,008	13,236	8,608	16,496	11,511
10	77	19,585	15,085	14,169	10,838	16,990	11,997
11	77	21,273	17,594	16,576	14,376	19,006	14,083
12	77	20,094	16,558	15,497	13,546	17,866	12,877
13	77	19,541	15,811	14,772	12,548	17,245	12,235
14	77	18,438	14,363	13,361	10,741	15,898	10,798

Из таблиц видно, что коэффициенты запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в исследуемых режимах (в нормальном и послеаварийных) оказались выше, чем минимально допустимые величины, что является положительным моментом. Однако анализ коэффициентов запаса статической аperiodической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки показывает, что в послеаварийных режимах не удается достичь устойчивой работы в узлах нагрузки 3, 4 и 9 (значение коэффициента запаса в послеаварийном режиме меньше 10%). Это означает, что данные режимы являются недопустимыми, наблюдается нарушение устойчивости узлов нагрузки. Следовательно, необходимо предельный режим отстраивать от значений напряжения в узлах нагрузки. Это необходимо будет учесть в дальнейшем при исследовании различных режимных ситуаций на данной тестовой схеме.

Заключение. Исследование режимов работы тестовых схем является очень важным этапом в разработке и проектировании сетей большой размерности. Изучая тестовые схемы небольшого объема, намного проще объяснить принципы работы сети, ее особенности, определить характерные черты. Изучив таким образом небольшую модель, на ее основе можно составить объемные схемы, которые будут опираться на принципы работы тестовых схем.

Расчеты утяжелений для оценки коэффициентов запаса по статической аperiodической устойчивости

необходимо проводить с учетом формализованного выбора вида и места утяжеления, при котором нагрузка сети будет максимальной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Приказ №630 Министерства энергетики Российской Федерации Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок "Методические указания по устойчивости энергосистем". [Электронный ресурс]. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/542630877> (дата обращения 20.10.2020).
2. Чемборисова, Н. Ш. Использование моделей элементов сети и ПК RASTR WIN при расчетах и анализе режимов ЭЭС: учеб. пособие / Н. Ш. Чемборисова, М. В. Бурмейстер, И. Х. Юсупов. - М.: Издательство МЭИ, 2018. - 68 с.
3. Карапетян И. Г., Файбисович Д. Л., Шапиро И. М.: справочник по проектированию электрических сетей - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2017. - 376 с.
4. Data sheets for IEEE 14 bus system. [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.coursehero.com/file/33135380/DATASHEETSFORIEEE14BUSSYSTEM19-appendixpdf/> (дата обращения 20.10.2020).
5. IEEE 14 bus system. [Электронный ресурс]. - URL: <https://al-roomi.org/power-flow/14-bus-system> (дата обращения 20.10.2020).

THEORETICAL ASPECTS OF RETROREFLECTION OF ROAD MARKING

Bochkarev V.,*PhD, Associate Professor, department
«Construction and maintenance of roads», MADI, Moscow***Zhustareva E.,***PhD, Associate Professor, department
«Construction and maintenance of roads», MADI, Moscow***Dmitrichev A.***PhD, Associate professor, head of laboratory, ООО "NTC "Катафот", Волоколамск*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СВЕТОВОЗВРАЩЕНИЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

Бочкарев В.И.,*канд. техн. наук, доцент, кафедра
«Строительство и эксплуатация дорог», МАДИ, Москва***Жустарёва Е.В.,***канд. техн. наук, доцент, кафедра
«Строительство и эксплуатация дорог», МАДИ, Москва***Дмитричев А.В.***канд. техн. наук, начальник лаборатории, ООО "НТЦ "Катафот", Волоколамск*DOI: [10.24412/3453-9875-2020-52-1-55-60](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-55-60)**Abstract**

The article deals with the problem of visibility of road markings in the dark. The calculation of the planar scheme of light rays passing through a glass bead is presented. The analysis of the efficiency of retroreflection was performed depending on the refractive index and the angle of inclination of the incident light rays. Practical recommendations for increasing the night visibility of road markings are given.

Аннотация

В статье рассмотрена проблема обеспечения видимости дорожной разметки в темное время суток. Приведен расчет плоской схемы прохождения лучей в стеклошарике. Выполнен анализ эффективности световозвращения в зависимости от коэффициента преломления и угла наклона падающих световых лучей. Даны практические рекомендации по повышению ночной видимости дорожной разметки.

Keywords: road markings, glass beads, retroreflection**Ключевые слова:** дорожная разметка, стеклошарики, световозвращение.

Одним из важнейших потребительских свойств автомобильной дороги является безопасность движения. Для обеспечения безопасности движения применяют различные технические и организационные мероприятия. Нанесение горизонтальной разметки на поверхность дорожного покрытия способствует повышению организации и безопасности движения транспортных средств. При этом важно обеспечить видимость дорожной разметки в темное время суток на участках, где отсутствует искусственное освещение дороги осветительными приборами, а единственным источником света являются фары транспортного средства.

При движении по дороге в темное время суток водители вынуждены воспринимать все её элементы, в том числе дорожную разметку, за счет света фар своего автомобиля. Световой поток от фар автомобиля направлен под очень малым углом к поверхности покрытия, а приемник света (глаза водителя) находится в непосредственной близости к источнику света (фарам). При попадании света на непрозрачную поверхность (поверхность линии разметки) лучи светового потока поглощаются и отражаются поверхностью. Чем выше белизна по-

верхности дорожной разметки, тем большее преобладание имеет явление отражения светового потока. В эффекте отражения кроме цвета важную роль играет шероховатость освещаемой поверхности. На идеально гладкой поверхности имеет место зеркальное отражение, то есть отраженные лучи уходят от поверхности под углом равным углу падения в противоположную сторону от источника света. Поэтому зеркальная поверхность разметки на дорожном покрытии ночью при свете фар должна восприниматься как "черная дыра". Шероховатая поверхность обладает эффектом диффузного отражения, когда отраженные лучи расходятся равномерно во все стороны от поверхности, при этом только их малая часть возвращается в направлении источника света, в нашем случае – к глазам водителя.

Современные способы улучшения ночной видимости линий разметки основаны на увеличении доли отраженных лучей, возвращающихся в направлении обратном направлению освещения, то есть в усилении эффекта световозвращения разметочного материала. Наиболее широко применяемым способом усиления световозвращения явля-

ется нанесение на поверхность разметочного материала стеклошариков, способных преломлять и отражать свет от фар автомобилей. Стеклошарики представляют собой смесь гранул из прозрачного стекла диаметром от 100 до 850 мкм и более, имею-

щих форму близкую к шарообразной. Для обеспечения световозвращения слой стеклошариков должен быть равномерно распределен по поверхности линии разметки, а стеклошарики нижней частью должны быть заглублены в разметочный материал (рис.1).

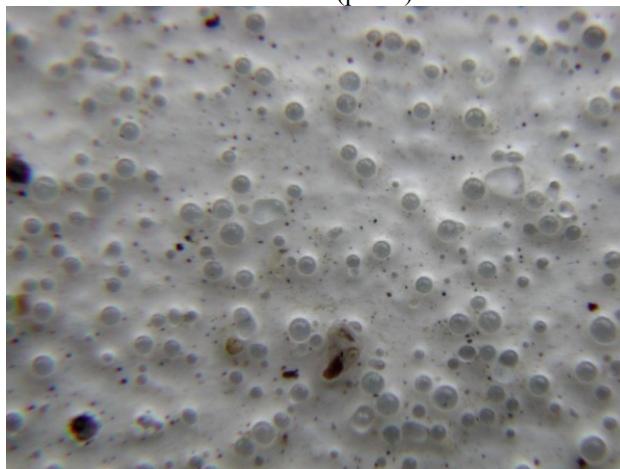


Рис.1. Микроснимок поверхности линии разметки со стеклошариками

С оптической точки зрения стеклошарик представляет собой сочетание выпуклой линзы с вогнутым зеркалом (рис. 2). Луч света фар входит в шарик через выпуклую свободную поверхность, преломляется на границе "воздух-стекло" в точке D к центру шарика. Далее преломленный луч попадает на нижнюю сторону шарика, поверхность которой

соприкасается с материалом разметки и поэтому представляет собой аналог вогнутого зеркала, и отражается от нее в точке R. Проходя в обратном направлении через границу "стекло-воздух" луч преломляется в точке E и возвращается в направлении практически обратном направлению падения луча.

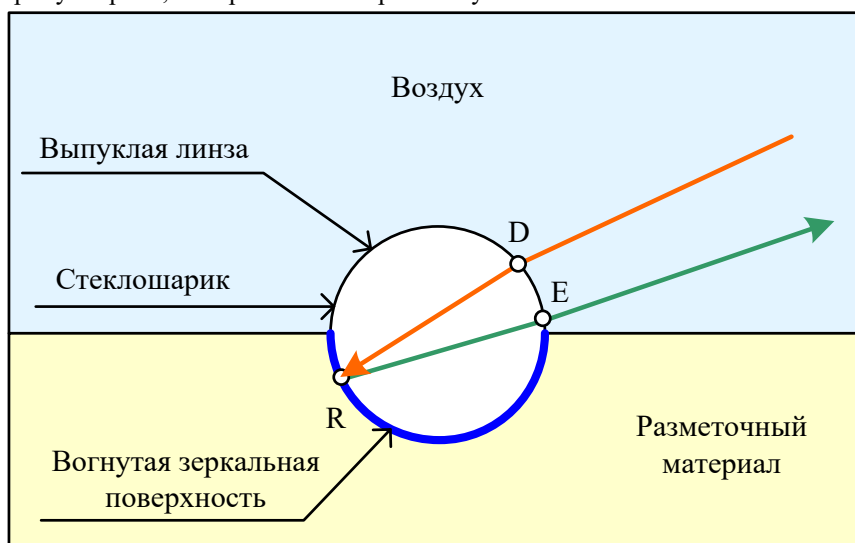


Рис. 2. Общая схема световозвращения

Такая схема действует при любом угле освещения, в частности при освещении поверхности дороги фарами автомобилей в темное время суток. Оптимальным с точки зрения обеспечения оптических показателей и устойчивости шарика в материале дорожной разметки считают заглубление шарика на 50% своего объема.

Объемный оптический расчет такой системы сложен, так как освещение стеклошарика происходит сбоку, слой материала разметки в этом случае

является как бы диафрагмой и для линзы, и для зеркала. Расчет плоской схемы прохождения лучей в стеклошарике можно выполнить по центральному сечению шарика с использованием основных законов геометрической оптики. Схема оптического расчета для стеклошарика радиусом $r = 1$ представлена на рис. 3.

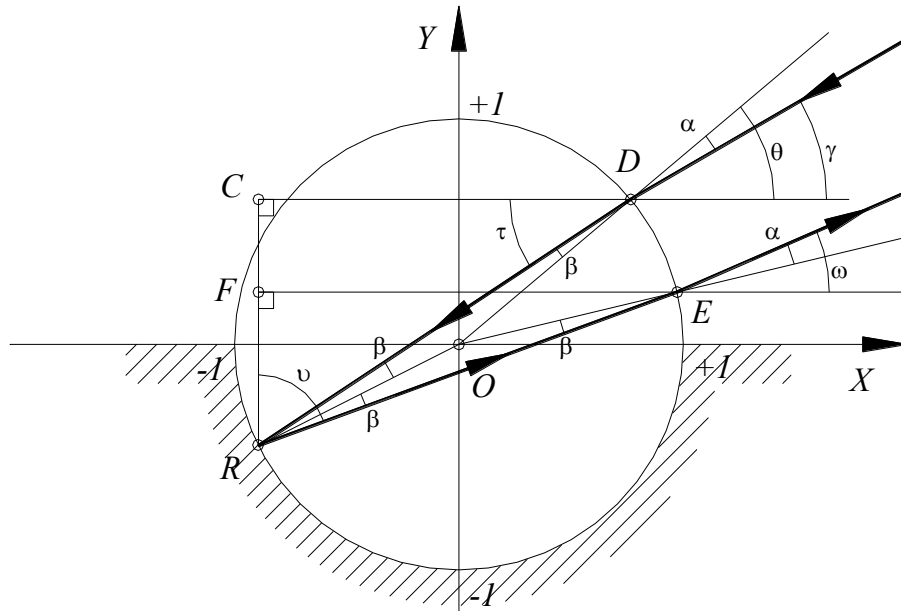


Рис.3. Схема оптического расчета прохождения луча в центральном сечении шарика

Шарик освещается потоком параллельных лучей, идущих под углом γ к горизонтали. Лучи, обеспечивающие эффект световозвращения имеют три характерные точки: D - точка падения (входа), R - точка отражения, E - точка выхода. Описываем угловую координату точки входа углом θ (против часовой стрелки от положительного направления оси $|OX|$). Декартовы координаты точки входа $x_D = \cos\theta$ и $y_D = \sin\theta$. В точке входа происходит переход луча в среду с другой оптической плотностью (воздух-стекло) и действует закон преломления. Угол падения луча $\alpha = \theta - \gamma$, так как отрезок $|OD|$, являющийся оптической нормалью в точке падения, характеризуется угловой координатой θ . Угол выхода луча β по закону преломления определяем по формуле $\beta = \arcsin(\sin\alpha/n)$, где n - коэффициент преломления стекла. Длину хорды $|DR|$ первого хода луча в шарике определяем из равнобедренного треугольника DRO ($|OD| = |OR| = 1$) по формуле $|DR| = 2 \cdot \cos\beta$. Для определения декартовых координат точки отражения рассмотрим прямоугольный треугольник DCR, в котором угол $\tau = \theta - \beta$. Сторона $|CD| = |DR| \cdot \cos\tau$ представляет собой смещение по оси X координаты точки отражения относительно точки падения, а сторона $|CR| = |DR| \cdot \sin\tau$ - смещение по оси Y. Следовательно, координаты точки R будут определяться по формулам $x_R = x_D - |CD|$ и

$y_R = y_D - |CR|$. Если координаты точки R соответствуют нижней стороне шарика, то в этой точке действует закон зеркального отражения, а именно - луч уходит в обратном направлении под углом, равным углу падения (β), отсчитываемом от нормали, направление которой определяет отрезок $|OR|$. Длина хорды второго хода луча в шарике $|RE|$ равна длине хорды $|DR|$ вследствие осевой симметрии $|RE| = |DR|$. Для определения декартовых координат точки выхода рассмотрим прямоугольные треугольники RFE и DCR, из которых угол $\nu = \pi/2 - \tau + 2 \cdot \beta = \pi/2 - \theta + 3 \cdot \beta$. Сторона $|FE| = |RE| \cdot \sin\nu$ представляет собой смещение по оси X координаты точки выхода относительно точки отражения, а сторона $|RF| = |RE| \cdot \cos\nu$ - смещение по оси Y. Следовательно, координаты точки E будут определяться по формулам $x_E = x_R + |FE|$ и $y_E = y_R + |RF|$. Если координаты точки E соответствуют верхней стороне шарика, то в этой точке происходит выход луча с обратным преломлением, причем, так как угол падения снова равен β , то угол выхода будет равен α от направления нормали, определяемого направлением $|OE|$. Угол наклона выходящего луча к горизонтали ω можно определить из соотношений углов прямоугольного треугольника RFE по формуле $\omega = \pi/2 - \nu - \beta + \alpha = 2 \cdot \theta - \gamma - 4 \cdot \beta$.

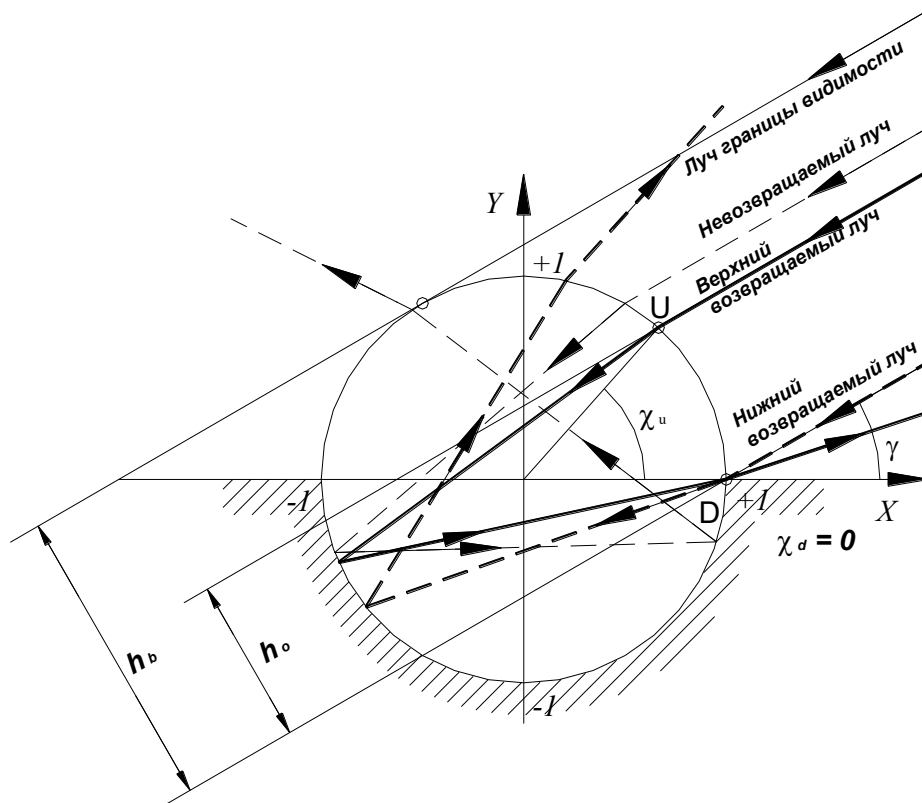


Рис. 4. Схема расположения границ областей видимости в шарике

Из приведенных зависимостей следует, что размеры сектора шарика, в котором падающие лучи отражаются в обратном направлении, ограничены и зависят от угла наклона падающих лучей и коэффициента преломления материала шарика (рис. 4). С одной стороны (точка U) сектор отражения ограничен падающим лучом (верхний возвращаемый луч), точка выхода которого имеет координаты $[+1; 0]$. С другой стороны (точка D) сектор отражения ограничен падающим лучом (нижний возвращаемый луч), входящим через точку с координатами $[+1; 0]$. Высоту освещенной области можно определить по формуле

$$h_b = 1 + \sin \gamma. \quad (1)$$

Высоту зоны, где падающие лучи отражаются по описанной выше схеме, можно вычислить по формуле

$$h_o = \sin(\gamma - \chi_d) + \sin(\chi_u - \gamma), \quad (2)$$

где χ_d и χ_u – угловые координаты точек соответственно нижней и верхней границы сектора отражения.

В качестве показателя эффективности световозвращения можно принять относительную высоту зоны отражения $k_h = h_o / h_b$, зависимость которой от угла наклона освещающих лучей к горизонтали и коэффициента преломления представлена на рис. 5. Линии, построенные для коэффициентов преломления 1,5 и 2, имеют монотонный возрастающий характер. При углах наклона падающих лучей $\gamma > 86^\circ$ для $n = 1,5$ и $\gamma > 43^\circ$ для $n = 2,0$ значение относительной высоты зоны отражения становится равно единице ($k_h = 1$). Это означает, что весь поток падающих лучей отражается в обратном направлении. Однако следует иметь в виду, что падающий поток параллельных световых лучей после оптических процессов, происходящих в шарике, на выходе становится расходящимся под некоторым углом, величина которого возрастает с увеличением угла наклона падающих лучей γ .

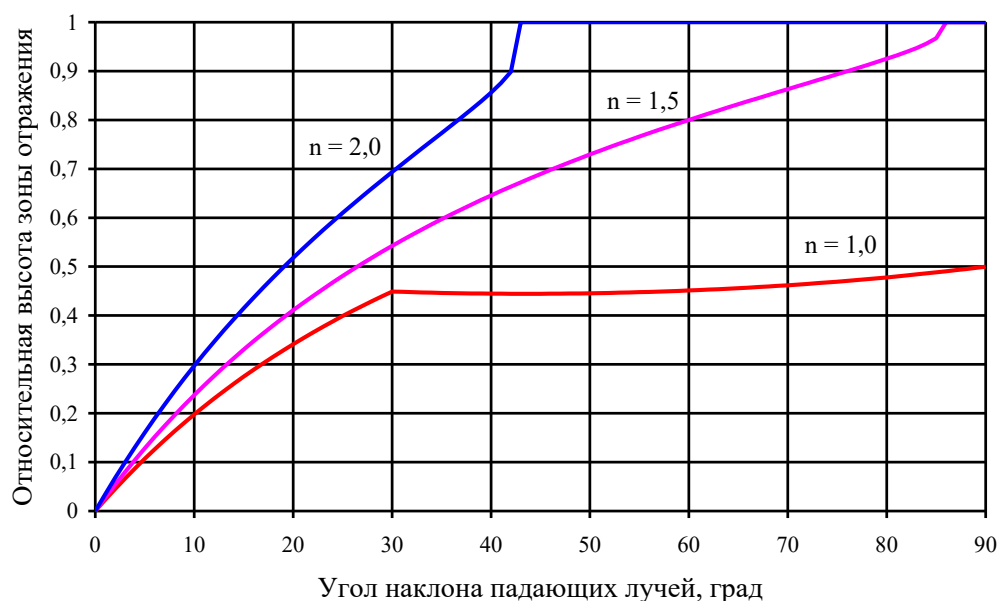


Рис. 5. График зависимости относительной высоты зоны отражения от угла наклона лучей и коэффициента преломления

Линия, построенная для $n = 1,0$, описывает случай, когда преломление луча на границе "воздух-стекло" не происходит, а происходит отражение от сферического вогнутого зеркала. Поэтому эта линия имеет иной вид. При $\gamma > 30^\circ$ лучи, падающие в точку $[+1; 0]$ после отражения от вогнутой зеркальной поверхности выходят за пределы зоны видимости. При $\gamma > 45^\circ$ лучи претерпевают двойное зеркальное отражение и не вписываются в изложенную схему расчета, несмотря на то, что часть их после отражения может попадать в видимую зону.

Следует помнить, что изложенные зависимости и ограничения для плоскостного решения будут действительны и при объемном оптическом расчете световозвращающих шариков.

С целью обеспечения ночной видимости горизонтальной дорожной разметки (эффекта световозвращения) в нормативных документах установлены требования к коэффициенту световозвращения (удельному коэффициенту силы света) ($\text{мкд} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{лк}^{-1}$), который определяют как отношение яркости ($\text{мкд}/\text{м}^2$) поверхности образца к освещенности поверхности в плоскости, перпендикулярной направлению падающего света (лк) [1, с. 7; 2, с. 3]. Измерения ночной видимости производят при условиях, в которых направления освещения и наблюдения близки друг к другу и образуют малый угол к поверхности (угол освещения равен $1,24^\circ$, угол наблюдения равен $2,29^\circ$ к поверхности). Схема измерений моделирует ситуацию, при которой расстояние видимости равно 30 м, уровень приемника света (уровень глаз водителя) находится на высоте 1,20 м, а источник освещения – на высоте 0,65 м. При таких условиях освещения и горизонтальной ориентации плоскости разметки значение

$k_h = 0,034$ при $n = 1,5$ и $k_h = 0,042$ при $n = 2,0$, то есть значения весьма малы.

Анализ расчетов и графиков позволяет сделать следующие выводы:

- 1) при заглублении стеклошариков на 50% объема при любом угле освещения имеются отраженные лучи, возвращающиеся непосредственно к источнику освещения и в прилегающую к нему область, что является необходимым условием обеспечения ночной видимости разметки;
- 2) существенно увеличить эффект световозвращения можно путем создания профилированных линий разметки, имеющих плоскости с углом наклона 30° и более в сторону направления освещения;
- 3) по возможности, для изготовления стеклошариков следует использовать материалы с высокими значениями коэффициента преломления;
- 4) предлагаемый способ расчета можно использовать для моделирования и учета влияния на световозвращение таких факторов, как угол наклона освещаемой поверхности, коэффициент преломления материала стеклошариков, заглубление стеклошариков в слой разметочного материала, взаимную работу нескольких стеклошариков.

Как было отмечено ранее, значительно улучшить показатели световозвращения разметки можно путем увеличения угла наклона падающего светового потока. Важно понимать, что изменение геометрии освещения дорожной разметки можно достигнуть не за счет изменения положения (высоты) источника освещения, а за счет создания профилированных линий разметки [3, с. 43], имеющих наклонные в сторону направления освещения поверхности (рис. 6).

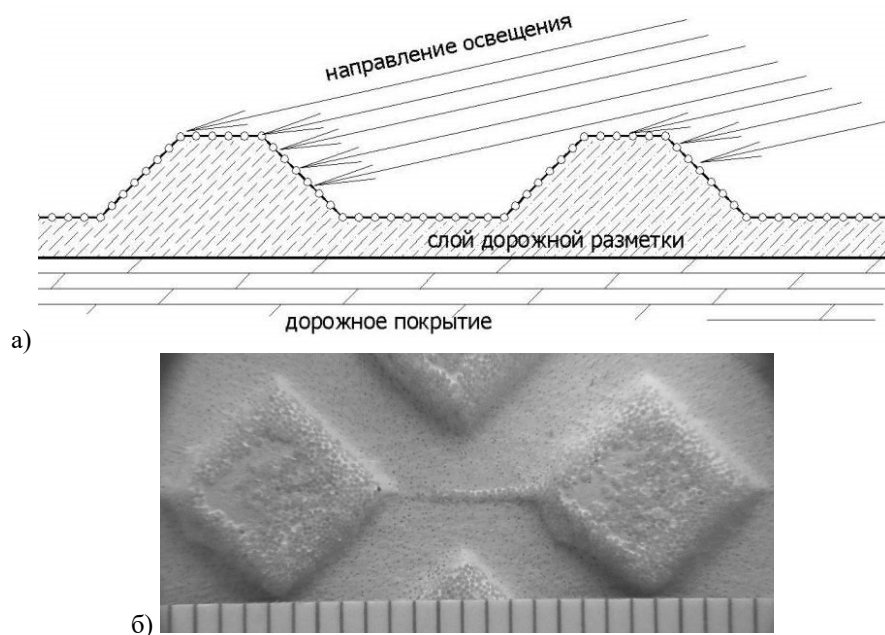


Рис. 6. Профилированная дорожная разметка
 а) схематический разрез; б) поверхность разметочной полимерной ленты марки "A.380 I" фирмы "3M" (США)

Профилированная дорожная разметка обладает рядом преимуществ:

- 1) стеклошарики, расположенные на наклонных гранях профилированной линии разметки, значительно повышают показатели световозвращения за счет более выгодной геометрии освещения;
- 2) расположенные на наклонных гранях стеклошарики в меньшей степени подвергаются механическим воздействиям колес автомобилей, следовательно, будут дольше сохраняться;
- 3) профилированные линии разметки обладают повышенными значениями коэффициента сцепления с колесом автомобиля;
- 4) на наклонных поверхностях разметки в меньшей степени удерживается водная пленка, что

значительно повышает эффект световозвращения при дожде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. EN 1436 Road marking materials - Road marking performance for road users and test methods (Brussels: European Committee for Standardization), 2018.
2. ГОСТ Р 51256-2018 Traffic control devices. Road marking. Classification. Technical requirements (Moscow: Standartinform), 2018.
3. Neis H. Die Nachtsichtbarkeit von profilierten Fahrbahnmarkierungen bei Nässe und ihre Beurteilung (Hamburg: Baumaschinen technik), 1986.

№52/2020

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 24 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
- Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
- Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
- Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
- Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
- Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
- Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
- Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
- Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
- Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
- Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
- Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
- Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
- Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
- Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
- Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
- Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
- Chan Jiang (Peking University, China) and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>