



ISSUE №11

Part №1



International periodic scientific journal

—*ONLINE*

www.moderntechno.de

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 84.35)



MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und
innovative Technologien

Issue №11

Part 1

March 2020

Published by:
Sergeieva&Co
Karlsruhe, Germany

ISSN 2567-5273
DOI 10.30890/2567-5273

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*
Scientific Secretary: Kuprienko Sergey, *candidate of technical sciences*

Editorial board: More than 160 doctors of science. Full list on pages 4

UDC 08
LBC 94
DOI: 10.30890/2567-5273.2020-11-01

Published by:
Sergeieva&Co
Lußstr. 13
76227 Karlsruhe, Germany
e-mail: editor@moderntechno.de
site: www.moderntechno.de

The publisher is not responsible for the validity of the information or for any outcomes resulting from reliance thereon.

Copyright
© Authors, 2020



About the journal

The International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies" has been published since 2017 and has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars.

Periodicity of publication: Quarterly

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English. The journal is registered in INDEXCOPERNICUS.

Sections of the Journal:

Library of Congress Classification Outline	Sections
Subclass TJ / TJ1-1570	Mechanical engineering and machinery
Subclass TK / TK1-9971	Electrical engineering.
Subclass TA / TA165	Engineering instruments, meters, etc. Industrial instrumentation
Subclass TK / TK5101-6720	Telecommunication
Subclass TK / TK1-9971	Electrical engineering. Electronics. Nuclear engineering
Subclass TN / TN1-997	Mining engineering. Metallurgy
Subclass TS / TS1950-1982, TS2120-2159	Animal products., Cereals and grain. Milling industry
Subclass TS / TS1300-1865	Textile industries
Subclass TK / TK7800-8360	Electronics
Subclass T / T55.4-60.8	Industrial engineering. Management engineering
Subclass T / T351-385	Mechanical drawing. Engineering graphics
Subclass TA / TA1001-1280, Subclass TL / TL1-484, Subclass TE / TE1-450, Subclass TF / TF1-1620	Transportation engineering. Motor vehicles. Cycles, Highway engineering. Roads and pavements, Railroad engineering and operation
Subclass TH / TH1-9745	Building construction
Subclass T / T55-55.3	Industrial safety. Industrial accident prevention
Additional sections	Innovative economics and management, Innovations in pedagogy, psychology and sociology, Innovative approaches in jurisprudence, Innovative philosophical views

Requirements for articles

Articles should correspond to the thematic profile of the journal, meet international standards of scientific publications and be formalized in accordance with established rules. They should also be a presentation of the results of the original author's scientific research, be inscribed in the context of domestic and foreign research on this topic, reflect the author's ability to freely navigate in the existing bibliographic context on the problems involved and adequately apply the generally accepted methodology of setting and solving scientific problems.

All texts should be written in literary language, edited and conform to the scientific style of speech. Incorrect selection and unreliability of the facts, quotations, statistical and sociological data, names of own, geographical names and other information cited by the authors can cause the rejection of the submitted material (including at the registration stage).

All tables and figures in the article should be numbered, have headings and links in the text. If the data is borrowed from another source, a bibliographic reference should be given to it in the form of a note.

The title of the article, the full names of authors, educational institutions (except the main text language) should be presented in English.

Articles should be accompanied by an annotation and key words in the language of the main text and must be in English. The abstract should be made in the form of a short text that reveals the purpose and objectives of the work, its structure and main findings. The abstract is an independent analytical text and should give an adequate idea of the research conducted without the need to refer to the article. Abstract in English (Abstract) should be written in a competent academic language.

The presence of UDC, BBK

Acceptance of the material for consideration is not a guarantee of its publication. Registered articles are reviewed by the editorial staff and, when formally and in substance, the requirements of the journal are sent to peer review, including through an open discussion using the web resource www.sworld.education

Only previously unpublished materials can be posted in the journal.

Regulations on the ethics of publication of scientific data and its violations

The editors of the journal are aware of the fact that in the academic community there are quite widespread cases of violation of the ethics of the publication of scientific research. As the most notable and egregious, one can single out plagiarism, the posting of previously published materials, the misappropriation of the results of foreign scientific research, and falsification of data. We oppose such practices.

The editors are convinced that violations of copyrights and moral norms are not only ethically unacceptable, but also serve as a barrier to the development of scientific knowledge. Therefore, we believe that the fight against these phenomena should become the goal and the result of joint efforts of our authors, editors, reviewers, readers and the entire academic community. We encourage all stakeholders to cooperate and participate in the exchange of information in order to combat the violation of the ethics of publication of scientific research.

For its part, the editors are ready to make every effort to identify and suppress such unacceptable practices. We promise to take appropriate measures, as well as pay close attention to any information provided to us, which will indicate unethical behavior of one or another author.

Detection of ethical violations entails refusal to publish. If it is revealed that the article contains outright slander, violates the law or copyright rules, the editorial board considers itself obliged to remove it from the web resource and from the citation bases. Such extreme measures can be applied only with maximum openness and publicity.



Editorial board

- Bukharina Irina Leonidovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Grebneva Nadezhda Nikolayevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Gritsenko Svetlana Anatol'yevna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Russia
 Kalenik Tat'yana Kuz'minichna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Knyazeva Ol'ga Aleksandrovna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Russia
 Kukhar Yelena Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Kazakhstan
 Moiseykina Lyudmila Guchayevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Nefed'yeva Yelena Eduardovna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Russia
 Sentyabrev Nikolay Nikolayevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Starodubtsev Vladimir Mikhaylovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Ukraine
 Testov Boris Viktorovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Tungushbayeva Zina Baybagusovna, Doctor of Biological Sciences, Kazakhstan
 Fateyeva Nadezhda Mikhaylovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Akhmadiev Gabdulakhat Malikovich, Doctor of Veterinary Science, Professor, Russia
 Shevchenko Larisa Vasil'yevna, Doctor of Veterinary Science, Professor, Ukraine
 Animitsa Yevgeniy Georgiyevich, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Russia
 Sukhova Mariya Gennad'yevna, Doctor of Geographical Sciences, assistant professor, Russia
 Irzhi Khakhula, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Czech Republic
 Fedorishin Dmitro Dmitrovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Ukraine
 Kokebayeva Gul'zhaukhar Kakenovna, Doctor of Historical Sciences, Professor, Kazakhstan
 Otepova Gul'fira Yelubayevna, Doctor of Historical Sciences, Professor, Kazakhstan
 Trigub Petr Nikitovich, Doctor of Historical Sciences, Professor, Ukraine
 Elezovich M. Dalibor, Doctor of Historical Sciences, assistant professor, Serbia
 Vizir Vadim Anatol'yevich, Doctor of Medical Sciences, Professor, Ukraine
 Fedyanina Lyudmila Nikolayevna, Doctor of Medical Sciences, Professor, Russia
 Orlov Nikolay Mikhaylovich, Doctor of Science in Public Administration, assistant professor, Ukraine
 Velichko Stepan Petrovich, doctor of pedagogical sciences, Professor, Ukraine
 Gavrilenko Nataliya Nikolayevna, doctor of pedagogical sciences, assistant professor, Russia
 Gilev Gennadiy Andreyevich, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Dorofeyev Andrey Viktorovich, doctor of pedagogical sciences, assistant professor, Russia
 Karpova Nataliya Konstantinovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Mishenina Tat'yana Mikhaylovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Ukraine
 Nikolayeva Alla Dmitriyevna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Rastrygina Alla Nikolayevna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Ukraine
 Sidorovich Marina Mikhaylovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Ukraine
 Smirnov Yevgeniy Ivanovich, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Fatykhova Aleytina Leon'tyevna, doctor of pedagogical sciences, assistant professor, Russia
 Fedotova Galina Aleksandrovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Khodakova Nina Pavlovna, doctor of pedagogical sciences, assistant professor, Russia
 Chigirinskaya Natal'ya Vyacheslavovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Churekova Tat'yana Mikhaylovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Latygina Natal'ya Anatol'yevna, Doctor of Political Sciences, Professor, Ukraine
 Sirota Naum Mikhaylovich, Doctor of Political Sciences, Professor, Russia
 Khebrina Svetlana Vladimirovna, Doctor of Psychology, Professor, Russia
 Vozhegova Raisa Anatol'yevna, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Denisov Sergey Aleksandrovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Russia
 Zhoitovonog Ol'ga Igorevna, doctor of agricultural sciences, Ukraine
 Kostenko Vasil'y Ivanovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Kotlyarov Vladimir Vladislavovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Russia
 Morozov Aleksey Vladimirovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Patyka Nikolay Vladimirovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Rebezov Maksim Borisovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Russia
 Tarariko Yuriy Aleksandrovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Mal'tseva Anna Vasil'yevna, Doctor of Sociology, assistant professor, Russia
 Stegny Vasil'y Nikolayevich, Doctor of Sociology, Professor, Russia
 Tarasenko Larisa Viktorovna, Doctor of Sociology, Professor, Russia
 Avershenkov Vladimir Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Antonov Valeriy Nikolayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Bykov Yuriy Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Goncharuk Sergey Mironovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Zakharov Oleg Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Kalayda Vladimir Timofeyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Kapitanov Vasil'y Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Kirillova Yelena Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Ukraine
 Kovalenko Petr Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Kopey Bogdan Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Kosenko Nadezhda Fedorovna, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Russia
 Kruglov Valeriy Mikhaylovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Kuderin Marat Krykbaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakhstan
 Lebedev Anatoliy Timofeyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Lomoto Denis Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Makarova Irina Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Morozova Tat'yana Yur'yevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Pavlenko Anatoliy Mikhaylovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Parunakyan Vaag Emil'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Pachurin German Vasil'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Pershin Vladimir Fedorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Piganov Mikhail Nikolayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Polyakov Andrey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Popov Viktor Sergeyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Rokochinskiy Anatoliy Nikolayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Romashchenko Mikhail Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Sementsov Georgiy Nikiforovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Sukhenko Yuriy Grigor'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Ustenko Sergey Anatol'yevich, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Ukraine
 Khabibullin Rifat Gabdulkhakovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Chervonny Ivan Fedorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Shayko-Shaykovskiy Aleksandr Gennad'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Shibayev Aleksandr Grigor'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Scherban' Igor' Vasil'yevich, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Russia
 Bushuyeva Inna Vladimirovna, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Volokh Dmitriy Stepanovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Georgiyevskiy Gennadiy Viktorovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Senior Researcher, Ukraine
 Gudzenko Aleksandr Pavlovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Tikhonov Aleksandr Ivanovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Shapovalov Valeriy Vladimirovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Shapovalova Viktoriya Alekseyevna, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Blatov Igor' Anatol'yevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Russia
 Kondratov Dmitriy Vyacheslavovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor, Russia
 Lya'l'kina Galina Borisovna, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Russia
 Malakhov A V, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Ukraine
 Vorozhitova Aleksandra Anatol'yevna, doctor of philology, Professor, Russia
 Lytkina Larisa Vladimirovna, doctor of philology, assistant professor, Russia
 Popova Taisiya Georgiyevna, doctor of philology, Professor, Russia
 Kovalenko Yelena Mikhaylovna, doctor of philosophical science, Professor, Russia
 Lipich Tamara Ivanovna, doctor of philosophical science, assistant professor, Russia
 Maydanyuk Irina Zinoviyevna, doctor of philosophical science, assistant professor, Ukraine
 Svetlov Viktor Aleksandrovich, doctor of philosophical science, Professor, Russia
 Stovpets A V, doctor of philosophical science, assistant professor, Ukraine
 Antrapteva Nadezhda Mikhaylovna, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Ukraine
 Bazheva Rima Chamalovna, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Russia
 Grizodub Aleksandr Ivanovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Ukraine
 Yermagambet Bolat Toleukhanovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Kazakhstan
 Maksin Viktor Ivanovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Ukraine
 Angelova Polyga Georgiyevna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Bulgaria
 Bezdenezhnykh Tat'yana Ivanovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Burda Aleksey Grigor'yevich, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Granovskaya Lyudmila Nikolayevna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Ukraine
 Dorokhina Yelena Yur'yevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Klimova Natal'ya Vladimirovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Kochinev Yuriy Yur'yevich, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Kurmayev Petr Yur'yevich, Doctor of Economic Sciences, Professor, Ukraine
 Lapkina Anna Aleksandrovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Ukraine
 Mel'nik Alona Alekseyevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Ukraine
 Mil'yayeva Larisa Grigor'yevna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Pakhomova Yelena Anatol'yevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Reznikov Andrey Valentinovich, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Savel'yeva Nelli Aleksandrovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Sokolova Nadezhda Gennad'yevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Strel'tsova Yelena Dmitriyevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Batyrgareyeva Vladislava Stanislavovna, doctor of law, Ukraine
 Get'man Anatoliy Pavlovich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Kafarskiy Vladimir Ivanovich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Kirichenko Aleksandr Anatol'yevich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Stepenko Valeriy Yefremovich, doctor of law, assistant professor, Russia
 Tonkov Yevgeniy Yevgen'yevich, doctor of law, Professor, Russia
 Shepit'ko Valeriy Yur'yevich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Shishka Roman Bogdanovich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Yarovenko Vasil'y Vasil'yevich, doctor of law, Professor, Russia
 Kantarovich YU L., Ph D in History of Arts, Ukraine
 Volgireva Galina Pavlovna, Candidate of Historical Sciences, assistant professor, Russia
 Tokareva Natal'ya Gennad'yevna, Candidate of Medical Sciences, assistant professor, Russia
 Demidova V G, Candidate of Pedagogical Sciences, assistant professor, Ukraine
 Mogilevskaya I M, Candidate of Pedagogical Sciences, Professor, Ukraine
 Lebedeva Larisa Aleksandrovna, Candidate of Psychological Sciences, assistant professor, Russia
 Yatsenko Olesksandr Volodymyrovych, Candidate of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Shapovalov Valentin Valer'yevich, Candidate of Pharmaceutical Sciences, assistant professor, Ukraine
 Stovpets V G, Candidate of Philology, assistant professor, Ukraine
 Ruslan Zubkov, Doctor of Economics, Associate Professor, Ukraine
 Tolbatov Andrey Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, Ukraine
 Sharagov Vasily Andreevich, Doctor of Chemistry, Associate Professor, Moldova



UDC 621.789

INVESTIGATION OF THE FLEXIBLE PACKAGING ELEMENTS JOINING BY HOT MELT ADHESIVE

Herasimenko Y.Y.

post graduate student

ORCID: 0000-0002-7791-6821

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**Kyiv, Peremohy ave, 37, Ukraine***Sokolskyi A.L.**

c.t.s., as.prof.

ORCID: 0000-0002-7929-3576

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**Kyiv, Peremohy ave, 37, Ukraine*

Abstract: The work considers the technology of joining with a hot melt adhesive to establish rational technological modes of the joining process to achieve the necessary strength and tightness of the joint. Researches on the strength during delamination of the hot melt adhesive showed that with an increase in the flow of hot melt adhesive, the strength of the joint first increases, at a rate of 0.004-0.0055 g/mm, it acquires maximum strength and then decreases. This can be explained by the fact that the strength of hot melt adhesive is less than the strength of its adhesive bond with paper.

Keywords: flexible packaging; hot melt adhesive; polymer; delamination; jointing strength.

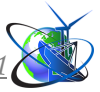
Introduction.

Today, flexible cardboard, paper, and polymer packaging are widely used in the packaging of chemical products, household chemicals, and food products. However, to increase competitiveness in comparison with other types of packaging, it is necessary to increase the productivity and safety of the processes of its formation and corking while providing the necessary level of its strength and ease of use. For this, various types of adhesives are widely used in the industry.

Adhesives can be divided into two main types: water-based (dextrins, starch, emulsion adhesives) and hot melt adhesives [1]. When choosing an adhesive, it is necessary to take into account the type of material to be jointed, the type of product to be packaged, the type of production equipment and the consumer of the requirement to the quality of the connection. Both types of adhesives contain a polymer that is responsible for the cohesion or internal strength of the adhesive. The necessary wetting and penetration are achieved by dissolving or dispersing the polymer in water or by melting hot melt adhesive. The adhesives are returned to a solid-state by removing the solvent by evaporation or cooling of the melt. In both cases, this is a physical process that is responsible for increasing the strength in the compound [2].

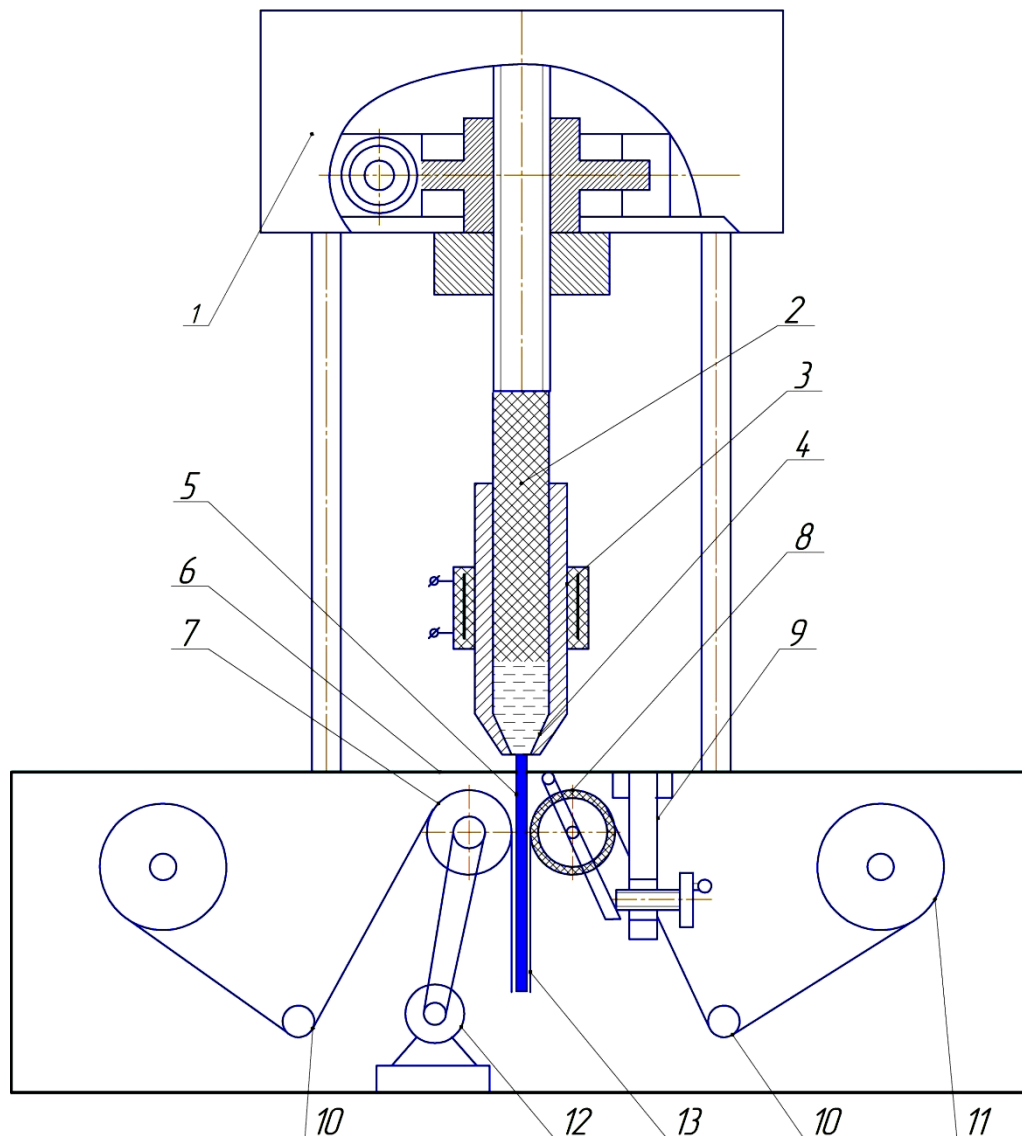
The traditionally used adhesive joints require considerable time to acquire the necessary strength, create evaporation of solvents in the working area and the danger of interaction with the packaged product. The listed disadvantages are absent when connecting the elements of flexible packaging with hot melt adhesive.

Hot melt adhesive is an adhesive that, under the influence of temperature, passes from a solid to a liquid state and hardens again upon cooling, which ensures strong adhesion [3]. Hot melt adhesive is used in the molten state at temperatures that range from 120 °C to 210 °C, depending on the application and the materials to be jointed.



The process of melting hot melt adhesive was considered in [4].

The work aimed to study the influence of various factors on the strength of a hot melt adhesive. An experimental setup was created to conduct jointing studies with hot melt adhesive. In fig. 1 shows its structural scheme.



- 1 – hot melt adhesive supply system; 2 – adhesive stick; 3 – heating channel;
 4 – nozzle; 5 – hot melt; 6 – broach system of the jointed packing material;
 7 – transport roller; 8 – rubber driven roller; 9 – control system of hold-down;
 10 – guide rollers; 11 – rolls of packaging material; 12 – driving of broach system;
 13 – jointed packaging material

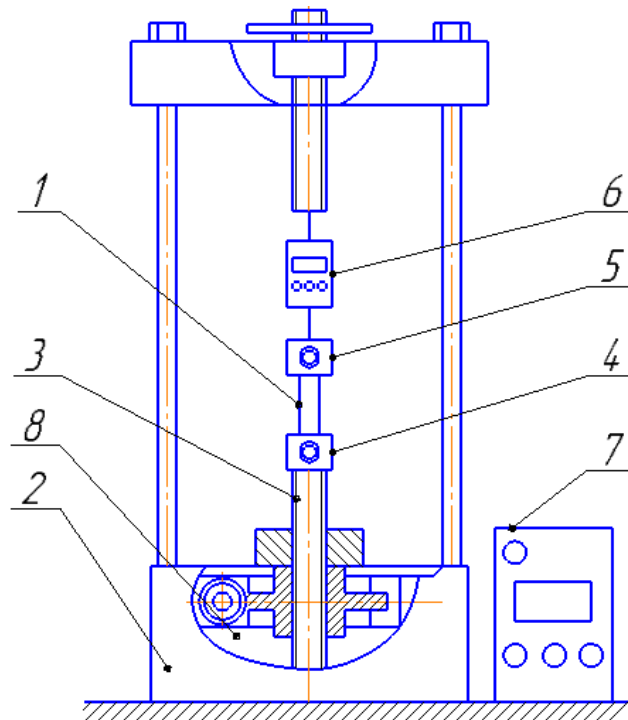
Fig. 1. The scheme of the device for jointing by hot melt adhesive

To obtain an integral connection, it is necessary to install the adhesive stick 2 into the heating channel 3. Using a screw pair, the supply system 1 pushes the adhesive stick 2 to the heating channel 3. In the heating channel 3, the adhesive stick 2 starts to melt under the action of heat from the heating block. The heating channel 3 ends with a nozzle 4, through which the melt of adhesive 5 is fed between the rolls of packaging material 11, where the connection will occur using the pressing force of the rollers 7 and 8. The transport roller 7 is driven by the broach system 12.



The described installation allows you to adjust the values of the clamping force and the feed rate of the adhesive stick.

To assess the qualitative characteristics of the compound thus obtained, a study was carried out on the strength during the delamination of the hot melt adhesive. The technique of such a study is described in [5]. Tensile tests of the jointed samples were carried out on the device shown in Fig. 2.



1 – piece; 2 – bedplate; 3 – pull mechanism; 4 – lower clamping jaws;
5 – upper clamping jaws; 6 – electronic dynamometer;
7 – control module; 8 – drive group

Fig. 2. Experimental device for samples tensile testing

The experimental device works as follows: the test sample (piece) 1 is fixed between the lower 4 and upper 5 clamping jaws. On the control module 7, a predetermined tensile speed is set. After turning on the device, the lower jaw 4 moves down at a constant speed, and the electronic dynamometer 6 captures the value of the effective force. The value of the stroke of the sponge is displayed on the indicator of the control module 7.

The calculated value of the tensile strength of the sample jointed by hot melt adhesive at the time of its rupture is determined as the ratio of the breaking load to the width of the sample.

In fig. 3 shows a graph of the dependence of the tensile strength of the hot melt adhesive joint P on the consumption of thermoplastic adhesive material m .

From fig. 3 shows that the joint acquires the greatest strength at the consumption of thermoplastic adhesive material in the range of 0.004-0.0055 g/mm. The difference in joint strength between the largest and the smallest reaches 36%.

The relationship between the tensile strength of the joint and the consumption of hot melt adhesive can be approximated by the dependence



$$P = -1 \cdot 10^6 m^3 + 11550 m^2 - 26.321 m + 0.1374.$$

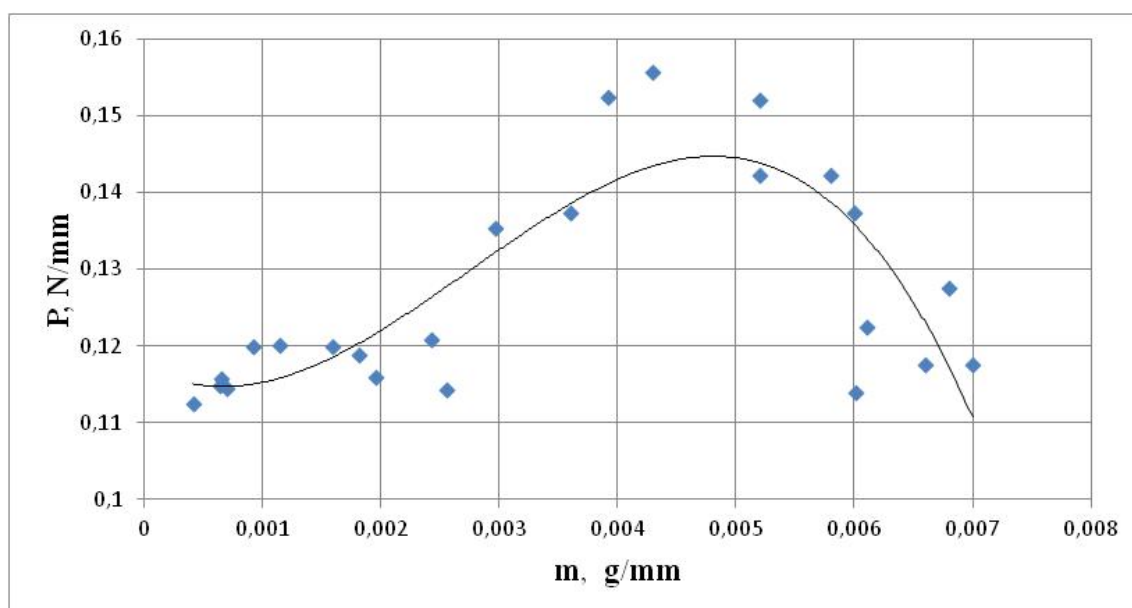


Fig. 3. Graph of tensile strength versus consumption of hot melt adhesive

It was found that the strength of the hot melt adhesive does not depend on the time interval between the joint and the tensile test, that is, it acquires the adhesive strength corresponding to the consumption almost immediately after the hot melt has solidified.

Summary and conclusions.

The study of the dependence of the tensile strength of the hot melt adhesive on the its consumption showed that with an increase in the melt flow of hot melt adhesive, the strength of the joint first increases, at a rate of 0.004-0.0055 g/mm, it acquires maximum strength and then decreases. After analyzing the result, we can conclude that the strength of the hot melt adhesive is less than the strength of its adhesive joint with paper.

References:

1. Emblem, A. and Emblem, H. (2001). *Packaging technology*. Cambridge: Wiley-VCH, pp.384-390.
2. Jones, I. and Stylios, G. (2013). *Joining Textiles*. Oxford: Woodhead Publishing, pp.225-232.
3. Gierenz, G. and Karmann, W. (2001). *Adhesives and adhesive tapes*. Weinheim: Wiley-VCH, pp.16-18.
4. Sokolskyi, O., Karvatskii, A., Mikulionok, I. and Herasimenko, Y. (2018). Improvement of the technology of thermal gluing by a melt of polymer additive material. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 5, pp.154-160.
5. Sokolskyi, O. and Gerasimenko, J. (2017). Experimental study on the thermal gluing of paper materials. *SWorld Journal*, (13), pp.167-173.

Article sent: 29/02/2020

© Herasimenko Y.Y., Sokolskyi A.L.



UDC 67.02

THE IMPACT OF 3D PRINTING PARAMETERS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THERMOPLASTIC PRODUCTS**Oleksyshen V.O.***post graduate student***Sokolskyi A.L.***c.t.s., as.prof.*

ORCID: 0000-0002-7929-3576

Kolosov A.E.*d.t.s., prof.*

ORCID: 0000-0001-8939-0591

Solovei V. V.*post graduate student**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**Kyiv, Peremohy ave, 37, Ukraine*

Abstract: *The impact of parameters of a 3D printing process on a physical and mechanical properties of the obtained products from thermoplastic polymeric materials is studied, which allows us to evaluate the possibility of using this technology in various industries and take into account the results obtained when modeling and creating new units and mechanisms made with using 3D printing. The strength of the samples in the direction transverse to the layers is approximately 25% less than the strength along the layers and 30% less than the strength of the samples made by injection molding.*

Keywords: *3D printer, mechanical properties, thermoplastic materials, tensile test, layer thickness*

Introduction. Additive printing technology is one of the fastest growing in the field of machine, aircraft, shipbuilding, pharmaceuticals and other industries. The reason is a simplicity of the manufacturing process of polymer products in comparison with traditional methods, the acceleration of the manufacturing process of prototype parts, etc.

A large number of polymer companies, scientists and enthusiasts made a great contribution to the study of additive technologies, promising areas of development and their further implementation in various enterprises. However, the imperfection of the technology, the low speed of manufacturing finished products, low rates of physical, mechanical and operational properties of parts compared to parts made by traditional methods, the limited choice of suitable feedstock for manufacturing imposes a number of restrictions on the use of this method of manufacturing final products.

One of the main obstacles to the introduction of additive technologies in the engineering industry is the lack of research into the properties of finished products, their physical, mechanical, thermal, chemical and other characteristics, as well as the influence of structural and technological characteristics of forming devices on the final properties of these products.

Analysis of previous studies. Similar studies on additive printing technology have been conducted by scientists from the University of Florida and the College of Engineering at the University of California at Berkeley [1].



Using CoreXY-type Ultimaker 2 and Stratasys Fortus 360 mc printers, researchers conducted tensile and shear tests on ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) samples on Ultimaker 2 and PC (Polycarbonate) made on Stratasys Fortus 360 mc. The main differences between research [1] and this research are the different materials used in the study, various printer parameters (different nozzle diameters of the print head 0.4 mm versus 0.5 mm and 1 mm) and studies of only one parameter, namely the layers orientation, which affects the physical and mechanical properties of the samples.

There was no analysis of factors affecting the anisotropy of the properties of the finished products and no methods for solving this problem were proposed. Also, according to the results of the study, we can conclude that the anisotropy of properties between stretching along the fibers and the transverse direction varies within 25%.

A direct analogue of this study is the study of John J. Luerto and Joshua M. Pearce [2], where the difference is the type of printer design, the diameter of the print head and print speed. These factors significantly affect the final result, but the research [2] can be used for comparative analysis and serve as confirmation of the correctness of the choice of the method of the experiment and the processing of the obtained data.

The aim of the research is to determine the effect of the printing parameters of 3D printers, such as layer thickness, printing temperature and speed print head movement, on the physical and mechanical characteristics of finished products from thermoplastic polymeric materials.

Statement of the main material. ASTM D638 standard was used for tensile test. According to the standard, the type and dimensions of the samples were selected, as shown in Fig. 1. For the study, similar types and sizes of samples were selected. Previously, tensile tests of samples along the print fibers were carried out in accordance with the recommendations [4].

Note that the static tensile test methods are standardized. These standards give typical shapes and sizes of samples, describe methods for determining the characteristics that are evaluated during the experiment, the basic requirements for experimental equipment, methods of conducting the experiment and processing the final results.

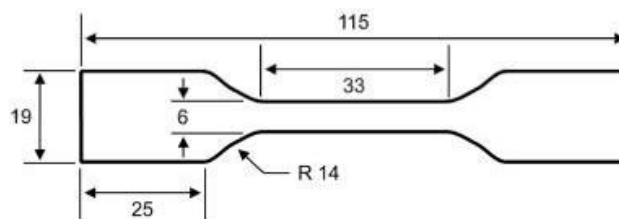
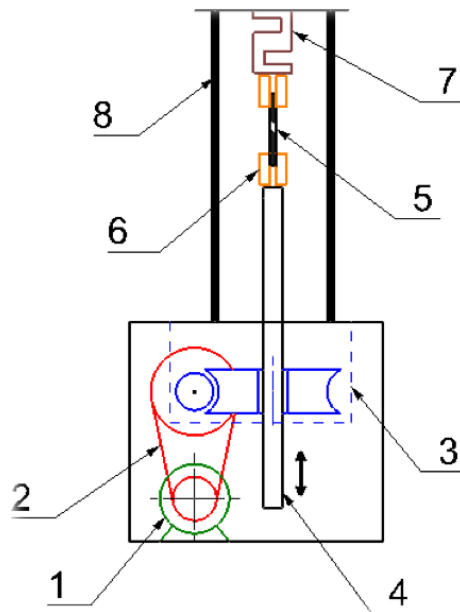
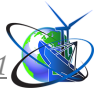


Fig. 1. Type and size of samples used in this work

For the experiment, a tensile testing machine was developed and manufactured (Fig. 2), which provides loading and unloading with a known rate of change in the loading of the experimental sample.



1 – electric motor; 2 – belting; 3 – gearbox; 4 – screw pair; 5 – sample; 6 – clamp;
7 – strain gauge; 8 – frame

Fig. 2. Scheme of tensile testing machine

The physical and mechanical properties that are determined during a tensile test are used to control the manufacturing technology and quality of the raw materials, to select materials for design, to assess the strength, stiffness and reliability of structural elements.

Methods of static tensile tests at room temperature were used during the experiment [5].

The shape and main dimensions are presented in Fig. 3. and Table 1.

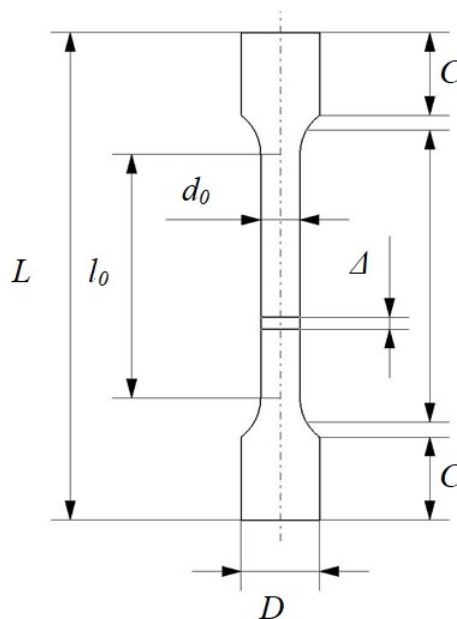


Fig. 3. Tensile test sample

**Table 1.**

Sample dimensions	
<i>Dimension</i>	<i>Value, mm</i>
Total length L , no less	100
Working length, l_0	50 ± 1
Working width d_0	10 ± 1
Fixing length C	25 ± 5
Fixing width D	25 ± 1
Sample thickness, t , not shown	$2 \pm 0,2$
Layer thickness, Δ	0,05—0,4

Test conditions. Samples were printed on H-Bot type 3D printer with a nozzle diameter 0.5 mm and 1 mm. The main printing options for a 3D printer that can be changed:

- 1) Extruder temperature (from 170 °C to 260 °C);
- 2) Print head speed (from 10 mm/s to 140 mm/s);
- 3) Layer thickness (from 0.1 mm to 0,6 mm);
- 4) Cooling (from 0 до 100%);
- 5) Infill of the model (from 5 % до 100 %);
- 6) Support angle (from 50 ° to 90 °).

All parameters that theoretically cannot affect the strength of the finished part were excluded.

“Support” is not available because the sample shape does not need this option. “Infill” directly affects the physical and mechanical properties, but in this case, a rational solution was to use 100% filling for further comparison with samples obtained by injection molding.

“Cooling” directly depends on the structure of the print head. Therefore, this value was taken as unchanged for each sample.

Therefore, three basic print parameters were changed in the study: print temperature, layer thickness, and print speed.

Results

The nozzle diameter is 0.5 mm. Breaking force transverse to the direction of the layers.

Fig. 4 shows a histogram of the obtained data from the tension of printed samples with a layer thickness of 0.05 mm to 0.35 mm in 0.05 mm increments.

The choice of values for the layer thickness is explained by the following. 3D printing with a layer thickness of less than 0.05 mm is low productivity and efficiency. Printing time is growing and the quality of the product is almost unchanged. Having a layer thickness of more than 0.35 mm, printing with a nozzle with a diameter of 0.5 mm becomes almost impossible, because the contact area between the layers tends to zero.

Based on the data obtained, it can be seen that the value of tensile forces is almost the same for the layer thickness values from 0.1 to 0.2 mm. Obviously, the most rational is the layer thickness of 0.2 mm. With this value, better print strength and performance are achieved.

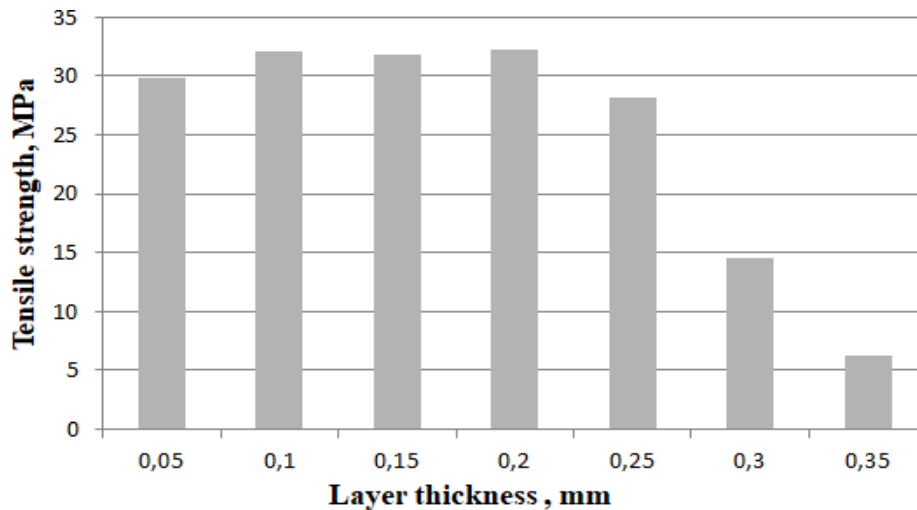
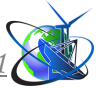


Fig. 4 – The dependence of tensile stress on layer thickness.
Nozzle diameter 0.5 mm

Fig. 5 shows a histogram of the obtained data from the tension of printed samples at a print temperature of 190 °C to 250 °C in increments of 10 °C. These values cover print temperatures recommended by filament manufacturers [6, 7, 8].

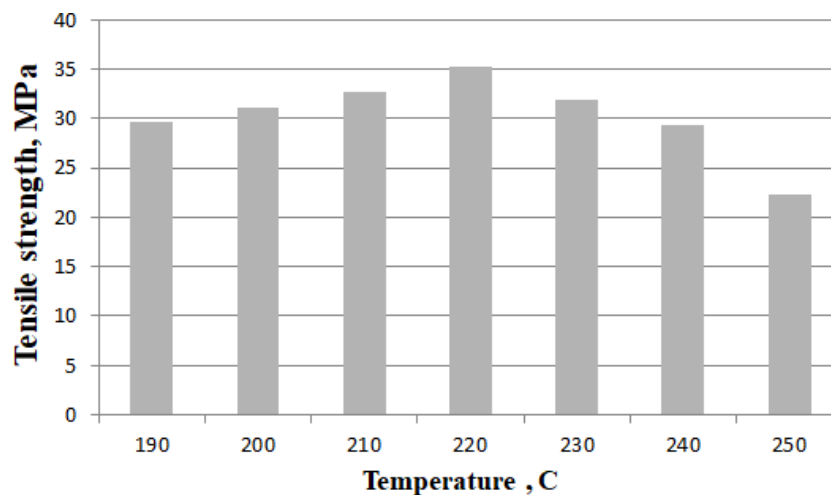


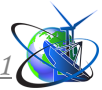
Fig. 5 – The dependence of tensile stress on print temperature.
Nozzle diameter 0.5 mm

Based on the data obtained, it is seen that the value of tensile forces is the highest for a temperature of 220 °C, which is slightly higher than the average recommended values.

Fig. 6 shows a histogram of the obtained data on the tension of printed samples at printing speeds from 10 m / s to 70 m / s in increments of 10 m / s. Larger values are not valid for 3D printers [6, 7, 8].

Based on the obtained in Fig. 6 data, it can be seen that the value of tensile forces are almost the same for speed between 10 mm/s to 40 mm/s. Obviously, the most rational is a speed between 30 mm/s to 40 mm/s. With this range of values, the best strength (34-35 MPa) and print performance (average 12-16 g/h) are achieved.

The results obtained for samples printed with a nozzle of 0.5 mm showed that the highest strength of samples printed with a layer thickness of 0.2 mm, a temperature of 220 °C and a printing speed of 30 mm/s is 35 MPa. The value of the



maximum breaking stress is 25% less when the samples are loaded along the print direction and 30% less for samples made by injection molding.

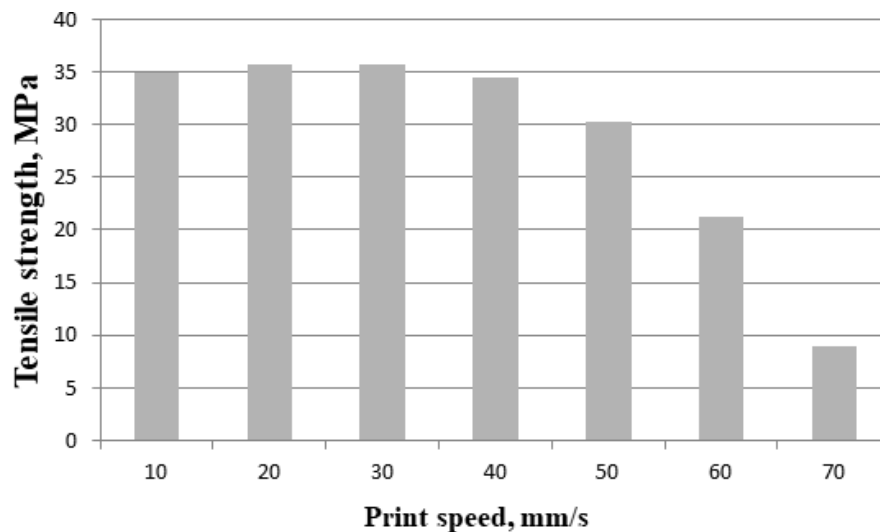
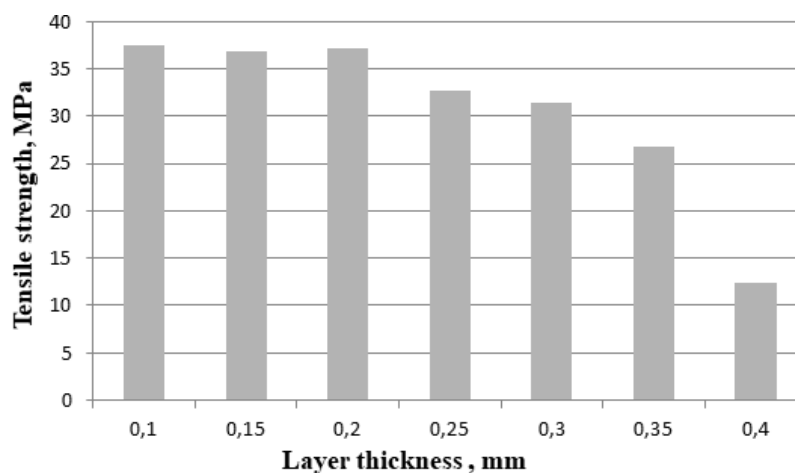


Fig. 6 – The dependence of tensile stress on print speed. Nozzle diameter 0.5 mm

The nozzle diameter is 1 mm. Breaking force transverse to the direction of the layers.

Fig. 7 shows a histogram of the obtained data from the tension of printed samples with a layer thickness of 0.1 mm to 0.4 mm in 0.05 mm increments.

The choice of values for the layer thickness is explained by the following. Having a layer thickness of less than 0.1 mm, 3D printing with a nozzle of 1 mm is low productivity and efficiency. Printing time is growing and the quality of the product is almost unchanged. With a layer thickness of more than 0.4 mm, printing with a nozzle with a diameter of 0.5 mm becomes almost impossible, because the contact area between the layers tends to zero.



**Fig. 7 – The dependence of tensile stress on layer thickness.
Nozzle diameter 1 mm**

Based on the data obtained, it can be seen that the value of tensile forces is almost the same for the layer thickness values from 0.1 mm to 0.2 mm. Obviously, the most rational is the layer thickness of 0.2 mm. With this value, better print strength and performance are achieved.

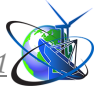
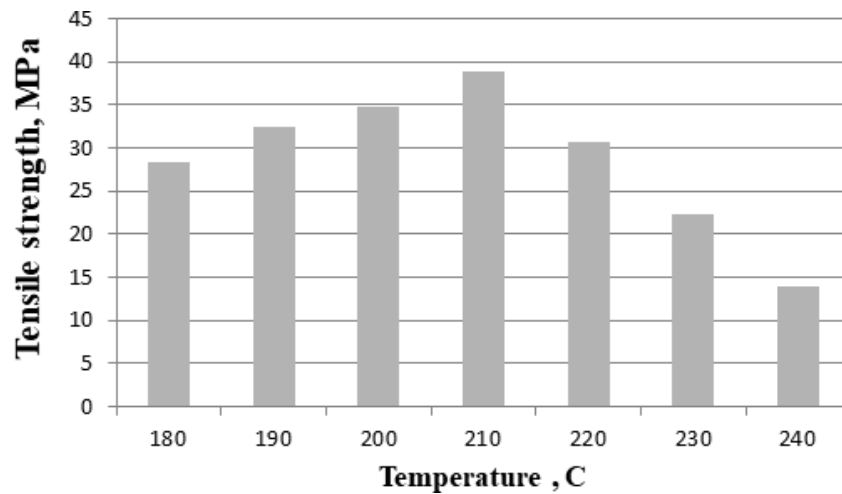


Fig. 8 shows a histogram of the obtained data from the tension of printed samples at a print temperature of 180 °C to 240 °C in increments of 10 °C. These values cover print temperatures recommended by filament manufacturers. It is also recommended that the print temperature for the 1 mm nozzle be slightly reduced.



**Fig. 8 – The dependence of tensile stress on print temperature.
Nozzle diameter 1 mm**

Based on the data obtained, it is seen that the value of tensile forces is the highest for a temperature of 220 °C, which corresponds to the average recommended value [6, 7, 8].

Fig. 9 shows a histogram of the obtained data on the tension of printed samples at printing speeds from 10 m/s to 70 m/s in increments of 10 m/s. Larger values are not valid for 3D printers.

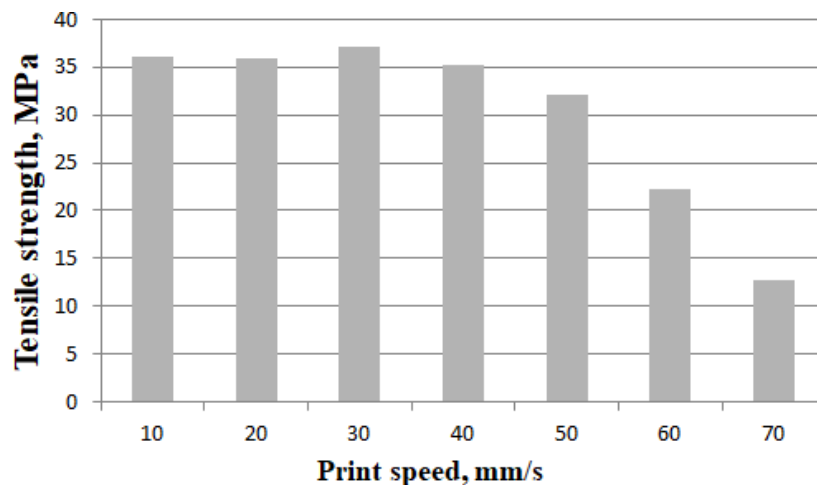
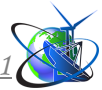


Fig. 9 – The dependence of tensile stress on print speed. Nozzle diameter 1 mm

The results obtained for samples printed with a nozzle of 0.5 mm showed that the highest strength of samples printed with a layer thickness of 0.2 mm, a temperature of 210 °C and a printing speed of 30 mm/s is 37 MPa. The value of the maximum breaking stress is 22% less when the samples are loaded along the print direction and 28% less for samples made by injection molding.

Conclusions.

For a nozzle diameter of 1 mm and with a breaking force that is perpendicular to



the direction of application of the layers, the values of breaking forces are almost the same for values of the layer thickness from 0.1 mm to 0.2 mm, which makes it possible to recommend the most rational layer thickness of 0.2 mm.

It was also found that samples printed with a nozzle with a diameter of 1 mm have a slightly higher (7–10%) tensile strength compared to the maximum strength of samples printed with a nozzle of 0.5 mm.

At the same time, more durable samples printed with a 1 mm nozzle, obtained at slightly lower printing temperatures (200–210) °C. This is explained by the high heat capacity of the polymer material and, therefore, the greater internal energy of the polymer layer deposited by a nozzle with a diameter of 1 mm.

Studies of the effect of printing parameters of 3D printers such as layer thickness, printing temperature and speed, nozzle diameter on the physical and mechanical characteristics of products made of thermoplastic polymeric materials have established that the greatest strength of the samples is achieved with such printing parameters: temperature within (200–210) °C, nozzle diameter 1 mm, layer thickness 0.2 mm, printing speed (30–40) mm/s.

At the same time, the strength of the samples in the direction transverse to the layers is approximately 25% less than the strength along the layers and 30% less than the strength of the samples made by injection molding. However, the 3D printing method allows, in comparison with the injection molding method, to create the necessary parts much faster and without the use of expensive equipment.

References

1. Cantrell, J., Rohde, S., Damiani, D. and other. Experimental Characterization of the Mechanical Properties of 3D-Printed ABS and Polycarbonate Parts. (2017). *Rapid Prototyping Journal*, (23), pp. 811–824. DOI: 10.1108/RPJ-03-2016-0042
2. Laureto, J. J., Pearce, J. M. Anisotropic mechanical property variance between ASTM D638-14 type i and type iv fused filament fabricated specimens. (2018). *Polymer Testing*, (68), pp. 294–301.
3. Metod ispytaniya na rastyazhenie plastmass [Plastics tensile test method], GOST 11262-80
4. Ivitskyi I.I., Sokolskyi A.L., Solovei V.V., Oleksyshen V.O. (2018). Vpliv parametriv trivimirnogo druku na fiziko-mehanichni vlastivosti virobiv iz termoplastiv [The influence of 3D printing parameters on the physical and mechanical properties of thermoplastic products] in *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu Ukrayini «Kiyivskiy politekhnichniy institut»*. Seriya «Himichna inzheneriya, ekologiya ta resursozberezhennya» [Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Series "Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation"], issue 1, pp. 17–23.
5. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM Standard D628- 14.
6. <https://u3df.com.ua/>
7. <https://ultimaker.com/>
8. <https://monofilament.com.ua/>

Article sent: 29/02/2020

© Oleksyshen V.O., Sokolskyi A.L., Kolosov A.E., Solovei V. V.



УДК 621.822.681.2:369.64

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CUTTING MODES AND
INTERMITTENT GRINDING WHEEL PARAMETERS ON****THE GRINDING TEMPERATURE OF THE ROLLER BEARINGS****ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ТА ПАРАМЕТРІВ****ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА****ТЕМПЕРАТУРУ ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ****Hruniuk S.V. / Гринюк С.В.***assistant / асистент.*

ORCID: 0000-0002-0080-3167

*Lutsk National Technical University, Lutsk, Lvivska street, 75, 43000**Луцький національний технічний університет, Луцьк, вул. Львівська, 75, 43000*

Анотація. В роботі розглядається дослідження температури під час шліфування поверхонь обертання зовнішніх кілець роликопідшипників та використання переривчастих шліфувальних кругів в технологічному циклі оброблення кілець підшипників.

Ключові слова: температура, шліфування, підшипник, кільце, цикл.

Вступ.

У практиці світового машинобудування відбувається постійне підвищення вимог до якості та конкурентоспроможності виробів. Питання керування якістю поверхневого шару деталей машин під час шліфування залишається актуальною проблемою сучасного підшипникового виробництва.

Оскільки, надійність та довговічність машин і механізмів визначається надійністю опор кочення, то особливо актуальною стає проблема технологічного забезпечення експлуатаційних характеристик підшипників кочення, які вирішальним чином залежать від точності геометричної форми поверхонь обертання, що формуються на операціях шліфування.

В підшипниках кочення ковзальний контакт змінюється контактом кочення, завдяки чому зменшуються витрати енергії на тертя. Але конструкція підшипника кочення така, що не дозволяє повністю звільнитись від елементів, які зумовлюють наявність незначного контакту ковзання. Тому робота підшипника кочення супроводжується складним змінами, котрі впливають на динамічні характеристики підшипника [1].

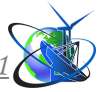
До підшипників загального та спеціального призначення висувається багато вимог, які можна класифікувати на загальні та специфічні:

- До загальних вимог відносяться такі як, зменшення шумності та вібрацій, моменту опору обертання, підвищення точності виконання геометричних розмірів, збільшення довговічності, надійності, зносостійкості.

- До специфічних вимог відносять теплостійкість, корозійна стійкість, антинамагнічуваність та ряд інших вимог, особливо до підшипників, що працюють в специфічних експлуатаційних умовах.

Програма експериментальних досліджень зв'язків технологічних чинників з температурою в зоні шліфування та з якістю шліфованих поверхонь, передбачає:

➤ дослідження температури під час шліфування поверхонь обертання



зовнішніх кілець роликотидшипників;

- застосування переривчастих шліфувальних кругів в технологічному циклі оброблення кілець підшипників.

Після проведення аналізу причин появи геометричних невідповідностей можна стверджувати, що усунення таких недоліків шляхом направленої технологічного впливу є ключовим напрямком покращення та стабілізації експлуатаційних показників поверхонь обертання роликотидшипників [3].

Основний текст.

Теплові явища, що супроводжують процес шліфування, значно впливають на якість шліфуваних поверхонь. Підвищені температури шліфування викликають дефекти в поверхневому шарі шліфованої деталі (припали, тріщини, мікроструктурні дефекти), що знижують якість деталі, у зв'язку із чим температурний чинник набуває значення одного з основних чинників процесу шліфування [2].

Основні чинники, що впливають на температуру різання під час шліфування заготовки, залежать від глибини різання t , швидкості заготовки V_a , числа канавок переривчастого шліфувального круга ε .

$$\theta = f(t, V_a, \varepsilon). \quad (1)$$

У першому наближенні функцію (1) можна представити у наступному вигляді [4]:

$$\theta = C \cdot t^a \cdot V_a^b \cdot \varepsilon^c \quad (2)$$

де C - коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу й умови оброблення; t - глибина різання, мм; V_a - швидкість заготовки, м/хв; ε - число канавок.

В логарифмічному представленні рівняння (2) буде поліномом першого степеня:

$$\ln \theta = \ln C + a \cdot \ln t + b \cdot \ln V_a + c \cdot \ln \varepsilon \quad (3)$$

Під час переходу до безрозмірних величин у загальному вигляді рівняння (3) запишемо:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (4)$$

Експерименти проводили використовуючи методику повного факторного аналізу, тобто одночасного варіювання усіх змінних чинників, $x_1(t), x_2(V), x_3(\varepsilon)$. Кожна з цих змінних варіюється на двох рівнях (2^k), де k - число змінних. Визначили невідомі b_0 і коефіцієнти b_1, b_2, b_3 .

Вибір режимів оброблення проводився із врахуванням можливостей обладнання та граничних режимів оброблення, як це показано в табл. 1.

За даними експериментальних досліджень і наступного статистичного оброблення результатів була отримана математична модель температури різання. Математична модель дійсна лише в межах інтервалів варіювання технологічних параметрів. Аналіз отриманої математичної залежності показав,



що найбільший вплив на збільшення температури різання має збільшення глибини різання й меншою мірою – число канавок шліфувального круга (ε). Швидкість заготовки (V_d) впливає на температуру різання під час шліфування, її збільшення призводить до зниження температурного впливу на поверхню, яку обробляють.

Таблиця 1

Режими шліфування і кодові позначення

Рівень	Режими шліфування			Кодові позначення		
	t , мм	V_d , м/хв	ε	x_1	x_2	x_3
Верхній	0,4	40	36	1	1	1
Середній	0,3	30	24	0	0	0
Нижній	0,2	20	12	-1	-1	-1

Найбільш високі значення коефіцієнта кореляції (у межах до 0,95) були отримані між температурою різання й глибиною різання оброблюваної деталі. На основі результатів досліджень, використовуючи метод найменших квадратів і властивості скалярного добутку основних векторів, кінцева формула для визначення температури різання в процесі шліфування має вигляд:

$$\theta = 611.8 \cdot t^{0.34} \cdot V_d^{-0.05} \cdot \varepsilon^{0.28} \quad (5)$$

Дисперсію адекватності моделі визначали за формулою:

$$S_{\text{ад.}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (Y_{\text{ej}} - Y_{\text{pj}})^2}{N-1} \quad (6)$$

де Y_i – отримане значення параметра оптимізації; Y_c – середнє значення параметра оптимізації; n – кількість паралельних дослідів.

Вплив температури на якість поверхневого шару деталі під час оброблення заготовок змінюється в залежності від кількості канавок шліфувального круга. Внаслідок невисокої теплопровідності (рис.1) вплив температури розповсюджується на поверхневі шари деталі.

До особливостей процесу шліфування заготовок відноситься обмежене використання мастильно-охолоджувальної рідини, яка потрапляючи в мікротріщини заготовки змінює фізико-механічні характеристики поверхневого шару матеріалу.

Результати вимірювання температури різання залежно від глибини різання показано на рис. 2. Було встановлено, що із зростанням числа канавок зменшуються температура різання, тому що збільшується коефіцієнт теплопровідності, покращуються умови тепловідводу, що не дає температурі рівномірно розподілитися по всьому об'єму деталі.

Результати, що були отримані в ході експерименту співпадають з результатами робіт, що відносяться до дослідження поверхонь обертання [2].

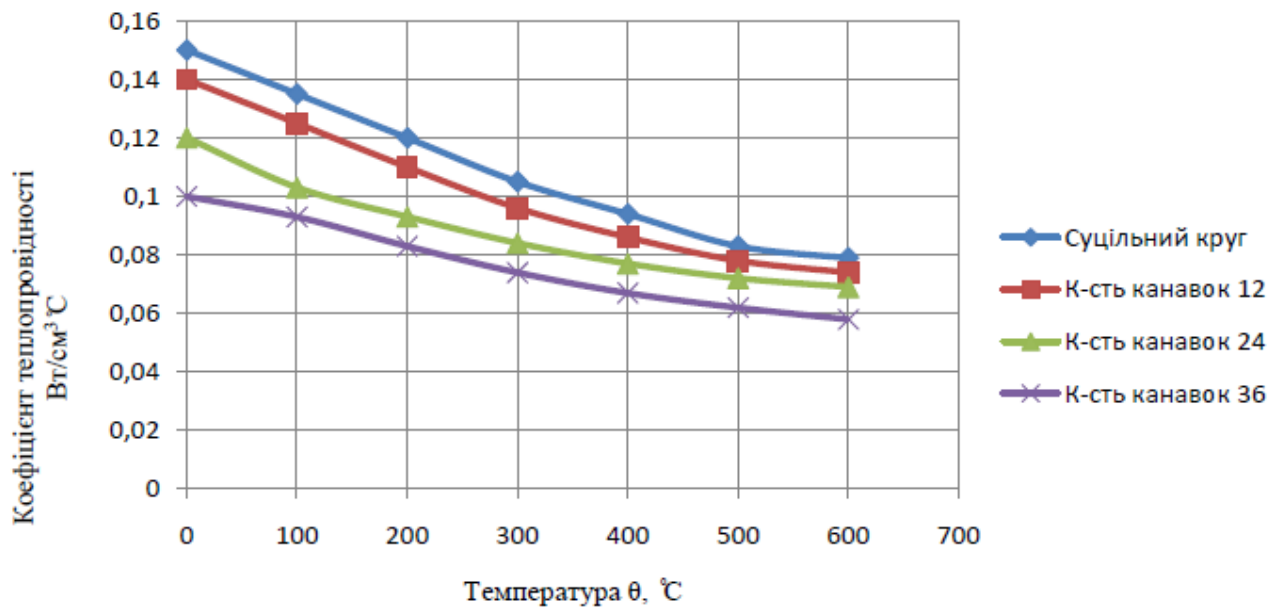
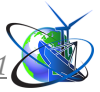


Рис. 1. Залежність теплопровідності матеріалів від температури

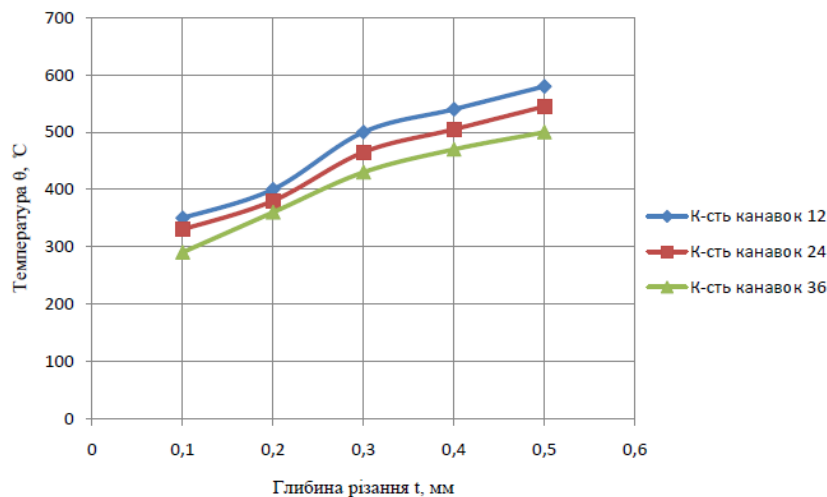


Рис. 2. Залежність температури різання від глибини різання при $V_d = 10 \text{ м/хв}$, $V_{кр} = 35 \text{ м/с}$, $t = 0.05 \text{ мм}$

Висновки.

1. Розроблено план експериментальних досліджень зв'язків конструкторсько-технологічних чинників та показників безцентрово-шліфувальних операцій з параметрами якості шліфованих поверхонь, температурою процесу шліфування переривчастими шліфувальними кругами та конструктивними параметрами кругів.

2. Експериментально та теоретично досліджено вплив глибини різання, числа канавок шліфувального круга, швидкості різання та величини повздовжньої подачі на температуру шліфування.

Література:

1. Марчук В.І. Технологічні основи забезпечення якості робочих поверхонь кілець роликотішипників [Текст] : дис... д-ра техн. наук: 05.02.08 / Марчук Віктор Іванович ; Луцький держ. технічний ун-т. - Луцьк, 2004. - 458



арк.+ дод.: 150арк. - арк. 430-458

2. Перель Л.Я. Подшипники качения: расчет, проектирование и обслуживание опор: [Справочник]. – М.: Машиностроение. – 1989. - №4. – С. 130- 134.

3. Ящерицын П.И. Повышение качества шлифованных поверхностей и режущих свойств абразивно-алмазного инструмента / П.И. Ящерицын, А.Г. Зайцев. – Минск : Наука и техника, 1972. – 480 с

4. Якимов А.В. Технология машиностроения: Учебник / А.В. Якимов, А.А. Якимов, В.П. Ларшин, В.Н. Свирцев. – Пермь, 2002. – 563 с.

References.

1. Marchuk V.I. Technological bases of quality assurance of working surfaces of roller bearings rings [Text]: dis ... dr. Sciences: 05.02.08 / Marchuk Viktor Ivanovich; Lutsk State. technical university - Lutsk, 2004. - 458 sheets + extra: 150 sheets. - Ark. 430-458

2. Perel L.Ya. Rolling bearings: calculation, design and maintenance of bearings: [Reference]. - М.: Mechanical Engineering. - 1989. - №4. - P. 130- 134.

3. Lizard P.I. Improving the quality of grinding surfaces and cutting properties of abrasive-diamond tools / PI Lizard, A.G. Zaitsev. - Minsk: Science and Technology, 1972. - 480 p

4. Yakimov A.V. Mechanical Engineering Technology: Textbook / AV. Yakimov, AA Yakimov, VP Larshin, VN Svirshev. - Perm, 2002. - 563 p.

Abstract. *In the world of mechanical engineering there is a constant increase of requirements for quality and competitiveness of products. The question of quality control of the surface layer of machine parts during grinding remains an urgent problem in modern bearing production. The program of experimental studies of the relationship of technological factors with the temperature in the grinding zone and the quality of the sanded surfaces, provides:*

- *study of temperature during grinding of surfaces of rotation of outer rings of roller bearings;*

- *the use of intermittent grinding wheels in the technological cycle of processing the bearing rings.*

After analyzing the reasons for the appearance of geometric mismatches, it can be argued that the elimination of such deficiencies by directing technological impact is a key direction for improving and stabilizing the performance of the roller bearing rotation surfaces

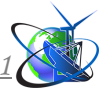
The thermal phenomena that accompany the grinding process significantly affect the quality of the grinding surfaces. Increased grinding temperatures cause defects in the surface layer of the grinding workpiece (hot spots, cracks, microstructural defects), which reduce the quality of the workpiece, and therefore the temperature factor becomes one of the main factors in the grinding process.

According to experimental studies and subsequent statistical processing of results, a mathematical model of cutting temperature was obtained. The mathematical model is valid only within the intervals of variation of technological parameters. The analysis of the obtained mathematical dependence showed that the greatest influence on the increase in the cutting temperature has an increase in the cutting depth and, to a lesser extent, the number of grooves of the grinding wheel (ϵ). The workpiece speed (V_d) affects the cutting temperature during grinding, increasing it leads to a decrease in the thermal effect on the surface being treated.

Key words: *temperature, grinding, bearing, ring, cycle.*

Стаття відправлена 04.03.2020р.

© Гринюк С.В.



УДК 622. 276.53

RESTORATION OF HYBRID SUCKER RODS TECHNICAL CHARACTERISTICS**ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІБРИДНИХ НАСОСНИХ ШТАНГ****Stefanyshyn A.B. / Стефанишин А.Б.***doktorant / аспірант**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano-Frankivsk, Karpatska 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, 76019*

Анотація. В роботі розглядаються перспективи застосування гібридних насосних штанг та проведена оцінка їх втомної міцності при циклічному згині. Проведено аналіз пошкоджень гібридних насосних штанг та розроблена методика заліковування тріщин.

Для дослідження втомної міцності було використано зразки гібридних штанг (вуглепластик зі склопластиком) діаметром 19мм і довжиною до 320 мм. Зразки досліджувалися при різному навантаженні та напруженні на стенді ЗКШ-25 при консольному згині частотою $n=950\text{хв}^{-1}$.

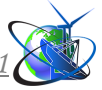
Після отриманих результатів проведено залікування тріщин зразків №1,3 і 4 бандажем із скловолокна ($l=50\text{см}$, $B=10\text{см}$ – 6 шарів по контуру штанги в місці виникнення тріщин) та епоксидної смоли. Вперше встановлено, що нанесення склопластикового бандажу на гібридні штанги з втомними тріщинами подовжує їх ресурс на 15-20 %.

Отримані результати представляють практичний інтерес для оцінки запасів міцності штангових колон і можуть бути використані для прогнозування ресурсу за багатоциклової втоми.

Ключові слова: гібридна насосна штанга, бандаж, діаграма втомної міцності, напруження, границя втоми, циклічний згин.

Вступ

Насосні штанги є основною складовою установки, а тому їхня поломка призведе до збою всієї системи. Крім того, вони працюють в динамічному режимі, тобто перебувають у постійному прискореному русі. Вони також можуть функціонувати у суворих умовах з високими температурами, в присутності корозійно-активних речовин та за максимальних навантажень. Суцільні сталеві штанги відносно важкі - їхня маса без муфт може становити від 1,08 до 5,4 кг/м (за загальноприйнятими розмірами). Вага сталевих штанг перевищує вагу рідини, яку вона піднімає, у 2-3 рази. Сталь чутлива до корозії, зношування та тріщиноутворення від корозійної втоми. Гібридні насосні штанги приблизно утричі легші за сталеві, краще переносять корозійну дію, проте їх модуль потужності складає 1/4 від сталевих, що викликає значне їх видовження при розтягу. Вони також мають структурну вразливість до напружень стискування за втрати стійкості. Безпосереднім результатом усіх цих чинників є те, що відмови у роботі насосних штанг є головними причинами простоїв насосних установок. Існує можливість застосувати удосконалені матеріали в галузі використання насосних штанг для вирішення цих проблем [1-3].



Основний текст

Досліджено згинальну втомну поведінку гібридних композитних стрижнів, що складаються з односпрямованих вуглецевих волокон в осерді і скляних в оболонці. Пошкодження оцінювали, контролюючи втрату жорсткості залежно від кількості циклів, а згинальну втомну міцність визначали з точки зору появи тріщин і руйнування. Методика акустичної емісії і мікроскопічне дослідження використовувалися для характеристики прогресування пошкодження і механізмів руйнування. Число циклів до відмови залежало від прикладеного рівня напруження, двопараметричний аналіз Вейбула використовувався для визначення ймовірності відмови згідно кривої σ -N. Пошкодження було ініційоване і розповсюджувалося в результаті розтріскування матриці і руйнування в зв'язці скляних волокон в оболонці (рис. 1). Втома при згині починається тільки тоді, коли гібридна штанга піддається прогину, що перевищує 42 % міцності на вигин. Пошкодження досягло точки насичення уздовж контакту скловолоконно/вуглеволоконно через концентрацію напружень, яка виникла між двома матеріальними системами, що призвело до асимптотичної поведінки втрати жорсткості.

Оскільки пошкодження не поширювалося на ядро вуглеволокна, статичні механічні властивості зберігалися до ~85% межі міцності або більше.

Для дослідження втомної міцності було використано чотири зразки гібридних штанг (вуглепластик зі склопластиком) діаметром 19мм і довжиною до 320 мм. Зразки досліджувалися при різному навантаженні та напруженні на стенді ЗКШ-25 при консольному згині частотою $n=950 \text{хв}^{-1}$.

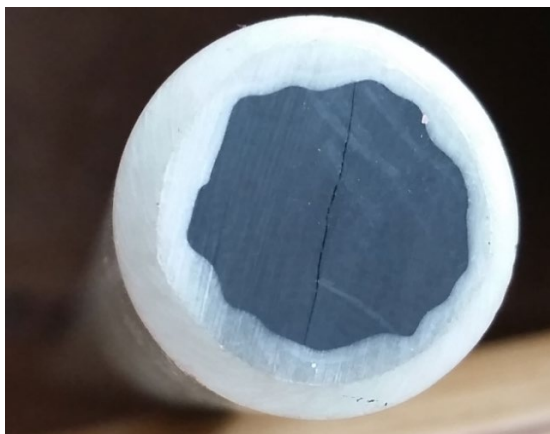


Рис. 1. Поперечний переріз гібридної насосної штанги з тріщиною, яка утворилася в вуглепластиковій серцевині (зліва) та розшарування склопластикової оболонки гібридної насосної штанги, яке утворилося після експлуатації в свердловині (справа)

Після отриманих результатів проведено заліковування утворених втомних тріщин зразків № 1,3 і 4 бандажем із скловолокна ($l=50 \text{см}$, $B=10 \text{см}$ – 6 шарів по контуру штанги в місці виникнення тріщин) та епоксидної смоли (рис. 2).

Згідно отриманих результатів побудована діаграма втомної міцності гібридних насосних штанг при циклічному згині (1 – початок зародження тріщин, 2 – кінцевий злам штанги) в порівнянні із склопластиковими



насосними штангами (рис.3).



Рис. 2. Загальний вигляд зразка гібридної штанги з повздовжнім розшаруванням (3 тріщини довжиною до 32 мм) та склопластиковим бандажем для випробувань на втому при згині

В процесі проведення повторних випробувань отримано такі результати:

Зразок №1 успішно пропрацював 9,4 млн. циклів; зразок № 3 - 1,854 млн. циклів; зразок №4 - 1.983 млн. циклів. Отримані дані зводимо в таблицю 1.

На зразках, що працювали при напруженнях згину 120, 140, 150 і 160 МПа були виявлені тріщини різних довжин, що наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку та отриманих досліджень

Зразок №	Напруження згину σ , МПа	Вага вантажу P_v , Н	К-сть відпр. циклів до появи тріщин, млн.	К-сть тріщин	Параметр тріщини l , мм	Примітки
1	120	290	7,34	3	32, 30, 5	Не зламався
1 після ремонту	120	290	9,4	-	-	Не зламався
2	160	394,2	0,0812	6	27, 25, 25 20, 17, 5	Зламався
2 після ремонту	160	394,2	-	-	-	-
3	140	350	1,4372	6	74, 73, 35 33, 33, 30	Не зламався
3 після ремонту	140	350	1,854	-	-	Зламався
4	150	368,3	1,185	3	10, 10, 12	Не зламався
4 після ремонту	150	368.3	1.983	-	-	Зламався

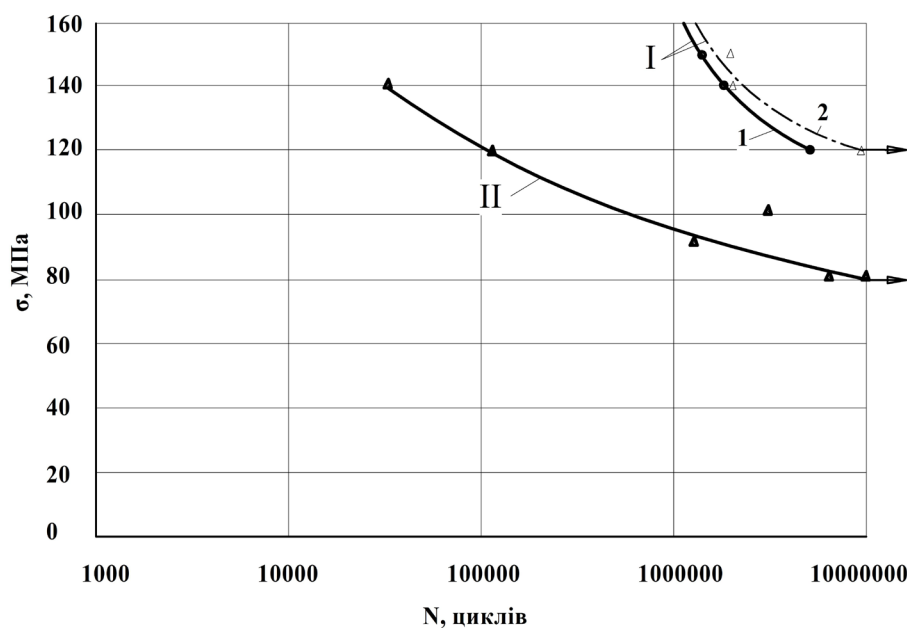


Рис. 3. Діаграма втомної міцності гібридних насосних штанг (крива I, 1 – початок зародження тріщин, 2 – кінцевий злам штанги з бандажем) та склопластикових насосних штанг (крива II) при циклічному згині

Висновки

При напруженні в 140, 150, 160 МПа випробувальний зразок гібридної насосної штанги зламався в місці з'єднання сталевий головки з тілом штанги, витримавши при цьому 1,4372, 1,185, 0,0812 млн. циклів відповідно. Отже, гібридні насосні штанги в змозі витримувати напруження згину до 130-140 МПа, не вище.

При напруженні згину в 120 МПа досліджувальний зразок без бандажу пройшов 7,34 млн. циклів і не зламався, проте з'явилися втомні тріщини. Це свідчать про те, що штанги можуть витримувати напруження згину до 120 МПа.

Відновлений зразок №1 при напруженні згину в 120 МПа пройшов 9,4 млн. циклів відповідно не зламався та не виявлено жодної тріщини. Такі результати свідчать про те, згідно запропонованої методики відновлені гібридні штанги при напруженні 120 МПа працюють значно більше часу до появи тріщин.

Відновлені зразки №3 та 4 пройшли відповідно 1,854 та 1,983 млн. циклів та зламалися в місці з'єднання сталевий головки з тілом штанги. Отже, гібридні насосні штанги в змозі витримувати високі напруження згину після їх відновлення. Вперше встановлено, що нанесення склопластикового бандажу на гібридні штанги з втомними тріщинами подовжує їх ресурс на 15-20 %.

Література:

1. Копей Б.В. Насосні штанги і труби з полімерних композитів: проектування, розрахунок, випробування./ Копей Б.В., Максимук О.В., Щербина Н.М. та інш. Львів: ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України, 2003 р. – 352 с.



2. Копей Б.В., Копей В.Б., Копей І.Б. Насосні штанги свердловинних установок для видобування нафти. Монографія. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2009, - 406с.

3 Копей Б. В., Стефанишин А. Б., Венгринюк Т. П. Втомна міцність гібридних насосних штанг. Фізико-хімічна механіка матеріалів – 2018. – № 4 - с.117-122.

Abstract. *The prospects for the use of hybrid sucker rods are considered and the estimation of their fatigue strength during cyclic bending is evaluated. Damage analysis of hybrid sucker rods was carried out and a method of crack slowing down (braking) was developed. For the study of fatigue strength, we used specimens of hybrid rods (carbon fiber with fiberglass) by diameter of 19 mm and a length of up to 320 mm. The specimens were examined under different loading and stresses at the ZKSH-25 stand with cantilever bending at a frequency of $n = 950 \text{ min}^{-1}$. After the obtained results, the fractures of samples No. 1,3 and 4 were treated by fiberglass bandage ($l = 50 \text{ cm}$, $B = 10 \text{ cm}$, 6 layers along the contour of the rod body at the cracks location) and by use of epoxy resin.*

For the first time, it is found that applying fiberglass bandage on hybrid rods with fatigue cracks extends their life by 15-20%.

The results obtained are of practical interest for the assessment of the strength of the bar columns and can be used to predict the resource for multi-cycle fatigue.

Keywords: *hybrid sucker rods, bandage, fatigue strength curves, stress, fatigue limit, cyclic bending.*

Науковий керівник: д.т.н., проф. Копей Б.В.

Стаття відправлена: 06.03.2020 р.

© Стефанишин А.Б.



UDC 539.3

DEVELOPMENT OF A VARIANT OF MATHEMATICAL THEORY OF THICK TRANSVERSAL-ISOTROPIC PLATES РОЗВИТОК ВАРІАНТА МАТЕМАТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ТОВСТИХ ТРАНСВЕРСАЛЬНО- ІЗОТРОПНИХ ПЛАСТИН

Zelensky A. G. / Зеленський А.Г.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

ORCID: 0000-0001-6408-1741

State Higher Educational Institution "Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and
Architecture", 24a, Chernyshevskogo street, Dnipro city, Ukraine, 49600

Придніпровська державна академія будівництва і архітектури

Abstract. The urgency of the research problem lies in the need to develop and build new versions of mathematical theory and develop effective methods to determine with high accuracy all the components of the stress-strain state (SSS) of plates and shells taking into account boundary effects, as well as to facilitate the solution of boundary value problems for these structural elements in comparison with solving the corresponding three-dimensional problems of the theory of elasticity. The purpose of the study is to develop a variant of mathematical theory of transversally isotropic plates of arbitrary thickness at static load, which is based on a three-dimensional theory of elasticity. All components of the SSS are taken into account as a function of three coordinates. The three-dimensional problem is reduced to a two-dimensional problem by decomposing all the SSS components into infinite rows by Legendre polynomials in the transverse coordinate, exact satisfaction of boundary conditions on the face planes, and applying the Reisner variational principle. This method of theory construction makes it possible to apply it to the calculation of plates with high accuracy. The method of the operator obtained the determining differential equations of internal SSS, potential and eddy edge effects. Forms of common solutions are displayed. The analytical and numerical results obtained are analyzed. The limits of using the theories of Tymoshenko-Reisner type are investigated. It is found that the internal SSS of the plates depends most on the thickness, transverse displacement, variability and locality of the transverse load. The impact of transverse crimping on SSS can be quite significant. The convergence of results improves with decreasing thickness and transverse shear. Increasing load variability reduces the accuracy of the results. For large load changes, higher approximations should be considered.

Key words: variant of mathematical theory, transversal isotropic plate of arbitrary thickness at transverse loading, operator transformations, forms of general solutions, Legendre polynomials.

1. Introduction.

Approaches to the calculation of plates and shells can be divided into three main areas. The first direction is to use different hypotheses. Famous classical and numerous clarifying theories, in particular [1; 2; 4; 7; 10; 11; 14; 17; 20; 22; 24]. The accuracy of the calculation depends on the class of boundary value problems and the correspondence of the hypotheses adopted for the mechanics of deformation of the specified elements. At the same time, hypothesis adequacy can only be established on the basis of the solution of boundary value problems from the standpoint of three-dimensional elasticity theory or on the basis of high-precision theories. Therefore, we need to know the classes of problems that can be solved with sufficient accuracy within these theories. Such studies are relevant today. All theories based on assumptions have a major drawback: the accuracy of these theories cannot be improved; it is limited by accepted hypotheses. The order of the systems of differential equations (DE) in these theories is usually low. The second direction – is



the use of DE three-dimensional theory of elasticity. All SSS components are considered as functions of three variables. Problems are analytically reduced to complex problems of mathematical physics, the solution of which is associated with excessive mathematical difficulties. One is to satisfy the boundary conditions on the entire surface of the plate or shell. In addition, numerous methods must be applied at the final stages of the solution. Only in limited cases do three-dimensional problems for plates and shells allow the analytic solution to be found [5; 15].

The third direction is based on a mathematical approach without accepting physico-geometric hypotheses. All the SSS components of the considered elements are considered to be functions of three coordinates. They are decomposed in thickness by mathematical series: tensor ones [12] using Legendre polynomials [3; 6; 8; 18; 19; 25] and others [16]. Three-dimensional problems are reduced to two-dimensional using projection methods [25], variational [8; 18; 19; 21; 26–28].

The development of plate and shell theories and the exact solutions of problems are investigated in [5; 9; 15; 16].

This article is a development of a version of the mathematical theory (MT) of transversely isotropic plates of arbitrary thickness, proposed in the approach [21] and generalized in [26–28].

2. Problem statement.

From the standpoint of the three-dimensional theory of elasticity, we consider a transtropic plate of arbitrary constant thickness h in a rectangular coordinate system x, y, z . The axes x, y lie in the median plane, the z axis is perpendicular to it and directed upwards ($-h/2 \leq z \leq h/2$). On the horizontal faces of the plate are applied static transverse loads $q_1(x, y)$ and $q_2(x, y)$, which are directed downwards. All SSS components are functions of three coordinates. Boundary conditions on the face planes of the plate:

$$\sigma_z(z = h/2) = -q_1(x, y); \sigma_z(z = -h/2) = q_2(x, y); \sigma_{xz}(z = \pm h/2) = \sigma_{yz}(z = \pm h/2) = 0. \quad (1)$$

The transverse load on the horizontal faces is represented by the sum of the skew symmetric $q/2$ and symmetric $p/2$ loads relative to the median plane. Then:

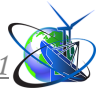
$$\sigma_z(z = \pm \frac{h}{2}) = \frac{1}{2}(\mp q(x, y) - p(x, y)), p(x, y) = q_1(x, y) - q_2(x, y), q(x, y) = q_1(x, y) + q_2(x, y).$$

The conditions on the side surface of the plate may be static, kinematic or mixed. Tension and displacement on the lateral surface - known functions of three coordinates.

Deformations depend on displacements based on the Cauchy relations of the spatial theory of elasticity. The relations between deformations and stresses for the transtropic plate, whose isotropy plane is parallel to the median plane, have the following form:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu \sigma_y) - \frac{\nu' \sigma_z}{E'}; \gamma_{zx} = \frac{\sigma_{zx}}{G'}, \gamma_{zy} = \frac{\sigma_{zy}}{G'}; \varepsilon_z = \frac{1}{E'}(\sigma_z - \nu'(\sigma_x + \sigma_y)); \gamma_{yx} = \frac{\sigma_{yx}}{G}. \quad (2)$$

We reduce the three-dimensional problem to a two-dimensional problem, expanding all SSS components into mathematical series along the transverse coordinate, using Legendre polynomials and the Reissner variational principle (VP) [23]. To obtain the basic equations and boundary conditions, we apply the of



interrelated equations method [21], which takes into account all terms in the components of the partial sum SSS. With the increase in the number of members taken into account, the order of DE systems and the accuracy of solving problems increase.

3. Basic equations.

3.1. Approximation of displacements, strains and transverse stresses.

We represent the components of displacements by infinite rows of Fourier-Legendre with z :

$$U(x, y, z) = \sum_{k=0}^{\infty} P_k(2z/h) u_k(x, y), (U, u \rightarrow V, v); W(x, y, z) = \sum_{k=1}^{\infty} P_{k-1}(2z/h) w_k(x, y), \quad (3)$$

where u_k, v_k, w_k is unknown functions that must satisfy the system of DE of equilibrium and boundary conditions. The displacement components can also be decomposed into other orthogonal polynomials. Legendre polynomials are shown to be the most acceptable. The constituent displacements (3) for $k=0,1$ determine the non-equilibrium and for $k \geq 2$ the self-equilibrium SSS.

If we consider components $u_0, v_0, u_1, v_1, w_1, \dots, u_n, v_n, w_n$ in (3), then we say that the boundary value problem for plates is solved in the approximation K0-n. The paper [21] considered the skew-symmetric deformation of the plate in the approximation of K13.

The deformations in the plate are determined by the Cauchy ratios:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \sum_{j=0}^{\infty} P_j \partial u_j / \partial x, (x, y; u, v); \varepsilon_z = \sum_{j=1}^{\infty} P'_{j-1} w_j; \\ \gamma_{yx} &= \sum_{j=0}^{\infty} P_j (\partial u_j / \partial y + \partial v_j / \partial x), \gamma_{xz} = \sum_{j=1}^{\infty} (P'_j u_j + P_{j-1} \partial w_j / \partial x), (x, y; u, v). \end{aligned} \quad (4)$$

To approximate the component of stresses $\sigma_{xz}, \sigma_{yz}, \sigma_z$, let us summarize the approach initiated in the approximation K13 [21], giving reasons that were not in the mentioned work. From our numerical-analytical studies based on three-dimensional elasticity equations, it follows that the influence of constant ν' on the transverse stresses can be almost neglected. For plates of average thickness, the differences do not exceed 0.38%. This is further used in the approximation of the stresses $\sigma_{xz}, \sigma_{yz}, \sigma_z$. Let us represent $\sigma_{xz}(x, y, z), \sigma_{yz}(x, y, z)$ in the form of series:

$$\sigma_{xz}(x, y, z) = \sum_{k=1}^{\infty} \sigma_{xzk}; \sigma_{xzk} = \alpha_k(z) Q_{kx}(x, y), (\sigma_{xz} \rightarrow \sigma_{yz}, \sigma_{xzk} \rightarrow \sigma_{yzk}; Q_{kx} \rightarrow Q_{ky}), \quad (5)$$

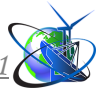
where the functions $\alpha_k(z)$ are determined from the first equilibrium equation of the plate element when deforming it on a cylindrical surface at $\nu'=0$. Lowering the calculations, we get:

$$\alpha_k(z) = 3(P_{k-1} - P_{k+1}) / ((2k+1)h), (k=1, 2, \dots). \quad (6)$$

The members of the series (5) for $k \geq 2$ are self-equilibrium for the thickness of the plate.

The normal stresses $\sigma_z(x, y, z)$ are also represented as series:

$$\sigma_z(x, y, z) = \sum_{k=0}^{\infty} \sigma_{zk}, \sigma_{z0} = -0,5p(x, y); \sigma_{zk} = \chi_k(z) \omega_k(x, y), k \geq 1; \omega_1(x, y) = q(x, y). \quad (7)$$



In (5) and (7) $Q_{kx}(x, y)$, $Q_{ky}(x, y)$, $(k = 1, 2, \dots)$; $\omega_k(x, y)$, $(k = 2, 3, \dots)$ - unknown functions.

Taking into account the boundary conditions (1) on the horizontal faces of the plate, we obtain:

$$\sigma_{z1}(z = \pm h/2) = \mp 0,5q(x, y); \sigma_{zk}(z = \pm h/2) = 0, (k = 2, 3, \dots). \quad (8)$$

From the third equation of equilibrium of the spatial theory of elasticity and (5)–(8), we obtain:

$$\chi_1(z) = \frac{-3P_1}{5} + \frac{P_3}{10}; \chi_k(z) = -\frac{3}{2} \left(\frac{P_{k-2}}{(2k-1)(2k+1)} - \frac{2P_k}{(2k-1)(2k+3)} + \frac{P_{k+2}}{(2k+1)(2k+3)} \right). \quad (9)$$

Similar expressions for $\alpha_k(z)$, $\chi_k(z)$ were obtained in [19], using the Castigliano VP and the method of undetermined Lagrange multipliers.

3.2. Reisner's variational equation. Relationships between stresses and displacements.

The variation of the Reisner equation for elastic bodies excluding volumetric forces is:

$$\begin{aligned} & \iiint (\sigma_x \delta \varepsilon_x + \sigma_y \delta \varepsilon_y + \sigma_z \delta \varepsilon_z + \sigma_{xy} \delta \gamma_{yx} + \sigma_{xz} \delta \gamma_{xz} + \sigma_{yz} \delta \gamma_{yz} + (\varepsilon_x - \varepsilon_x(\sigma_{ij})) \delta \sigma_x + \\ & + (\varepsilon_y - \varepsilon_y(\sigma_{ij})) \delta \sigma_y + (\varepsilon_z - \varepsilon_z(\sigma_{ij})) \delta \sigma_z + (\gamma_{yx} - \gamma_{yx}(\sigma_{ij})) \delta \sigma_{yx} + (\gamma_{xz} - \gamma_{xz}(\sigma_{ij})) \delta \sigma_{xz} + \\ & + (\gamma_{yz} - \gamma_{yz}(\sigma_{ij})) \delta \sigma_{yz}) dxdydz - \iint_A (X_v \delta U + Y_v \delta V + Z_v \delta W) dA = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

where A is the area of the entire surface of the plate; X_v, Y_v, Z_v - projections of the intensity of surface forces on the coordinate axis; δ indicates variations; the components of stresses and strains depend on the components of displacements; Integration in the triple integral is performed over the entire volume and in the double over the entire surface of the plate.

Given that the variations of $\delta \sigma_x$, $\delta \sigma_y$, $\delta \sigma_{xy}$ are arbitrary, we obtain from (10) the dependence:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= d_0(\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y) + d_{10} \sigma_z, (x, y); \sigma_{xy} = G \gamma_{xy}, \\ d_0 &= E/(1-\nu^2), d_{10} = E\nu'/(E'(1-\nu)); d_0, d_{10}, E, E', G, \nu, \nu' - const. \end{aligned} \quad (11)$$

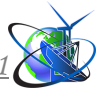
Considering the integrals from $\delta \sigma_{xz}$, $\delta \sigma_{yz}$, $\delta \sigma_z$ in (10), and taking into account (2), (4)–(9), we obtain a system of linear algebraic equations with respect to $Q_{kx}(x, y)$, $Q_{ky}(x, y)$ and independently of it a system of equations with respect to $\omega_k(x, y)$. In the approximation K0-5 we get:

$$\begin{aligned} Q_{kx}(x, y) &= h_{k1} \partial w_1 / \partial x + h_{k3} \partial w_3 / \partial x + h_{k5} \partial w_5 / \partial x + l_{k1} u_1 + l_{k3} u_3 + l_{k5} u_5, (k = 1, 3, 5); \\ Q_{ky}(x, y) &= h_{k2} \partial w_2 / \partial x + h_{k4} \partial w_4 / \partial x + l_{k2} u_2 + l_{k4} u_4, (k = 2, 4), (x \rightarrow y; u \rightarrow v); \\ \omega_1(x, y) &= q(x, y); \omega_k(x, y) = q_{k3} w_3 + q_{k5} w_5 + e_{k1} \varphi_1 + e_{k3} \varphi_3 + e_{k5} \varphi_5 + e_{kq} q, (k = 3, 5); \\ \omega_k(x, y) &= q_{k2} w_2 + q_{k4} w_4 + e_{k0} \varphi_0 + e_{k2} \varphi_2 + e_{k4} \varphi_4 + e_{kp} p, (k = 2, 4), \varphi_k = \partial u_k / \partial x + \partial v_k / \partial y, \end{aligned}$$

where h, l, q, e with indexes are mechanical-geometric parameters (MGP).

Functions Q_{kx}, Q_{ky}, ω_k also have a similar structure in higher approximations.

The stresses are represented by mathematical series according to (4)–(9), (11)–(13):



$$\sigma_{xz}(x, y, z) = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n(z) Q_{nx}(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n(2z/h) t_{xn}(x, y), (x, y); \quad (12)$$

$$\sigma_z(x, y, z) = -0,5 p(x, y) + \sum_{n=1}^{\infty} \chi_n(z) \omega_x(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n(2z/h) s_{zn}(x, y); \quad (13)$$

$$\sigma_x(x, y, z) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n(2z/h) s_{xn}(x, y), (\sigma_x, s_{xn} \rightarrow \sigma_y, s_{yn}); \sigma_{xy}(x, y, z) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n(2z/h) t_{yxn}(x, y). \quad (14)$$

The SSS components in the approximation K0-5 based on (3), (12)–(14) have the form:

$$U(x, y, z) = \sum_{k=0}^5 P_k(2z/h) u_k; V(x, y, z) = \sum_{k=0}^5 P_k(2z/h) v_k; W(x, y, z) = \sum_{k=0}^4 P_k(2z/h) w_{k+1}; \quad (15)$$

$$\sigma_{xz} = \sum_{n=0,1}^6 P_n(2z/h) t_{xn}(x, y), (\sigma_{xz}, t_{xn} \rightarrow \sigma_{yz}, t_{yn}); \sigma_z = \sum_{n=0,1}^7 P_n(2z/h) s_{zn}(x, y); \quad (16)$$

$$\sigma_x = \sum_{n=0,1}^7 P_n(2z/h) s_{xn}(x, y), (\sigma_x, s_{xn} \rightarrow \sigma_y, s_{yn}); \sigma_{xy} = \sum_{n=0,1}^5 P_n(2z/h) t_{yxn}(x, y); \quad (17)$$

$$t_{x0}(x, y) = Q_{1x}/h; t_{x1}(x, y) = 3Q_{2x}/(5h); t_{x2}(x, y) = -Q_{1x}/h + 3Q_{3x}/(7h);$$

$$t_{x3}(x, y) = -3Q_{2x}/(5h) + Q_{4x}/(3h); t_{x4}(x, y) = -3Q_{3x}/(7h) + 3Q_{5x}/(11h);$$

$$t_{x5}(x, y) = -Q_{4x}/(3h); t_{x6}(x, y) = -3Q_{5x}/(11h), (t_{xk} \rightarrow t_{yk}; Q_{kx} \rightarrow Q_{ky});$$

$$s_{z0}(x, y) = -(p + \omega_2/5)/2; s_{z1}(x, y) = -3(q + \omega_3/14)/5; s_{z2}(x, y) = (\omega_2 - \omega_4/6)/7;$$

$$s_{z3}(x, y) = q/10 + \omega_3/15 - \omega_5/66; s_{z4}(x, y) = -3(\omega_2/10 - \omega_4/11)/7;$$

$$s_{z5}(x, y) = -(\omega_3/14 - \omega_5/13)/3; s_{z6}(x, y) = -\omega_4/66; s_{z7}(x, y) = -3\omega_5/286;$$

$$s_{xk}(x, y) = d_0(\partial u_k/\partial x + \nu \partial v_k/\partial y) + d_{10}s_{zk}, (k = 0, 1, 2, 3, 4, 5); s_{xk}(x, y) = d_{10}s_{zk}, (k = 6, 7),$$

$$(s_{xk} \rightarrow s_{yk}; u_k \rightarrow v_k, \partial/\partial x, \partial/\partial y); t_{yjk}(x, y) = G(\partial u_k/\partial y + \partial v_k/\partial x).$$

The transverse stresses exactly satisfy the conditions (1) on the horizontal faces of the plate.

3.3. Differential equilibrium equations.

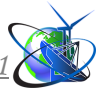
Substituting stresses (12)–(14) and variations of deformations (4) into the Reisner equation (10), and converting the integral, we obtain infinite systems of equations of equilibrium and boundary conditions on the lateral surface. The system of equilibrium equations is inhomogeneous with partial derivatives with respect to the sought components in displacements. The resulting system is divided into two independent. One system describes the SSS of the plate in symmetrical deformation relative to the median plane. Another system describes the SSS at skew symmetry (with purely bending deformation without transverse crimping). In all dependencies and equations, the components of the displacements taken into account in the partial sums of the series (3) must be taken into account. It is established that in the approximation K0- n , where n is an odd integer, the DE system at an obliquely symmetric deformation has an order $3(n+1)$, and at symmetric one - $(3n+1)$.

The systems of DE of equilibrium in the approximation K01 (tenth order) have the following form:

with symmetric deformation (approximation K0, fourth order DE system)

$$M_{i1}u_0 + M_{i2}v_0 = M_i p, (i = 1, 2);$$

with skew symmetric deformation (approximation K1, sixth order DE system)



$$L_{i1}u_1 + L_{i2}v_1 + L_{i3}w_1 = L_i q, \quad (i=1, 2, 3).$$

In the approximation K0-3 (twenty-second order DE system):
with symmetric deformation (approximation of K02, tenth order DE system)

$$M_{i1}u_0 + M_{i2}v_0 + M_{i3}u_2 + M_{i4}v_2 + M_{i5}w_2 = M_i p, \quad (i=1, 2, \dots, 5);$$

at skew symmetric deformation (approximation K13, twelfth order DE system)

$$L_{i1}u_1 + L_{i2}v_1 + L_{i3}u_3 + L_{i4}v_3 + L_{i5}w_1 + L_{i6}w_3 = L_i q, \quad (i=1, 2, \dots, 6).$$

In the approximation K0-5 (thirty-fourth order DE system):
in symmetrical deformation (approximation K024, 16th order DE system)

$$M_{i1}u_0 + M_{i2}v_0 + M_{i3}u_2 + M_{i4}v_2 + M_{i5}u_4 + M_{i6}v_4 + M_{i7}w_2 + M_{i8}w_4 = M_i p, \quad (i=1, \dots, 8); \quad (18)$$

with skew symmetric deformation (approximation K135, eighteenth-order DE system)

$$L_{i1}u_1 + L_{i2}v_1 + L_{i3}u_3 + L_{i4}v_3 + L_{i5}u_5 + L_{i6}v_5 + L_{i7}w_1 + L_{i8}w_3 + L_{i9}w_5 = L_i q, \quad (i=1, \dots, 9). \quad (19)$$

In the given systems L and M with double indices – the first and second order differential operators with respect to x, y ; L and M with single indices – zero and first order differential operators. Equally marked operators in different approximations are different.

It is shown that the differential matrices of these systems are symmetric.

The systems of DE in other higher approximations have a similar structure.

3.4. Boundary conditions on the lateral surface. By decomposing known loads on the lateral surface of the X_v, Y_v, Z_v plate into series with the help of Legendre polynomials in the transverse coordinate, we obtain:

$$X_v(z, s) = \sum_{i=0}^{\infty} P_i(2z/h) x_{si}(s), \quad (20)$$

where

$$x_{si}(x, y) = (2i+1) \left(\int_{-h/2}^{h/2} X_v(x, y, z) P_i(2z/h) dz \right) / h, \quad (X_v \rightarrow Y_v \rightarrow Z_v; x_{si} \rightarrow y_{si} \rightarrow z_{si}), \quad (21)$$

moreover, the component on the side surface must balance the transverse load on the horizontal faces. Then the boundary conditions are represented as follows:

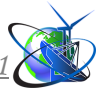
$$\int_{(s)} \left\{ \sum_{j=0}^{\infty} \frac{h}{2j+1} [(s_{xj}l_x + t_{yxj}l_y - x_{sj})\delta u_j + (t_{yxj}l_x + s_{yj}l_y - y_{sj})\delta v_j + \right. \\ \left. + (t_{xj}l_x + t_{yj}l_y - z_{sj})\delta w_{j+1}] \right\} ds = 0, \quad (22)$$

where l_x, l_y is the directing cosines of the angles to the surface. In symmetric deformation, members with even indices in variations are taken, and in oblique symmetry, with odd ones.

By decomposing known $U_r(x, y, z)$, $V_r(x, y, z)$, $W_r(x, y, z)$, components that are given on the lateral surface Γ of the plate into series by Legendre polynomials in the coordinate z , we obtain

$$U_r(x, y, z) = \sum_{j=0}^{\infty} P_j(z) u_{jr}(x, y), \quad (U_r, u_{jr} \rightarrow V_r, v_{jr}); \quad W_r(x, y, z) = \sum_{j=1}^{\infty} P_{j-1}(z) w_{jr}(x, y). \quad (23)$$

The functions $u_{jr}(x, y)$, $v_{jr}(x, y)$, $w_{jr}(x, y)$ are defined at the edge S of the plate as follows:



$$u_{j\Gamma}(x, y) = (2j+1) \left(\int_z U_{\Gamma}(x, y, z) P_j(2z/h) dz \right) / h, \quad (u_{j\Gamma} \rightarrow v_{j\Gamma}; U_{\Gamma} \rightarrow V_{\Gamma}), \quad (j = 0, 1, 2, \dots);$$

$$w_{j\Gamma}(x, y) = (2j-1) \left(\int_z W_{\Gamma}(x, y, z) P_{j-1}(2z/h) dz \right) / h, \quad (j = 1, 2, \dots).$$

Here are some boundary conditions in the approximation K0-n.

1). If displacement (23) $U_{\Gamma}(x, y, z)$, $V_{\Gamma}(x, y, z)$, $W_{\Gamma}(x, y, z)$, is known on the lateral surface, then the boundary conditions for $u_j(x, y)$, $v_j(x, y)$, $w_j(x, y)$, $(x, y \in S)$ are written as follows:

$$u_j(x, y) = u_{j\Gamma}(x, y), \quad v_j(x, y) = v_{j\Gamma}(x, y), \quad (j = 0, 1, \dots, n); \quad w_j(x, y) = w_{j\Gamma}(x, y), \quad (j = 1, 2, \dots, n).$$

2). If only the external loads (20) are acting on the lateral surface, and therefore the known functions x_{sj} , y_{sj} , z_{sj} (21) are known, then (22) yields the following boundary conditions:

$$s_{xj}(x, y)l_x + t_{yxj}(x, y)l_y = x_{sj}(x, y); \quad t_{yxj}(x, y)l_x + s_{yj}(x, y)l_y = y_{sj}(x, y); \quad (j = 0, 1, \dots, n);$$

$$t_{xj}(x, y)l_x + t_{yj}(x, y)l_y = z_{sj}(x, y), \quad (j = 0, 1, \dots, n-1); \quad (x, y \in S),$$

where functions s_{xj} , s_{yj} , t_{yxj} , t_{xj} , t_{yj} are expressed by the constituents in the displacements.

4. The transformation of DE in the approximation K0-5. Forms of common solutions.

4.1. Symmetrical deformation (approximation K024).

Performing algebraic and differential transformations of system (18), we obtain two systems. One system (homogeneous fourth order system) describes the eddy edge effect:

$$\gamma_{553}\psi_2 + \gamma_{552}\nabla^2\psi_2 + \gamma_{592}\psi_4 = 0;$$

$$\gamma_{592}\psi_2 + \gamma_{993}\psi_4 + \gamma_{992}\nabla^2\psi_4 = 0,$$
(24)

where $\psi_i = \partial u_i / \partial y - \partial v_i / \partial x$ –vortex functions; $\nabla^2 = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2$ –Laplace operator; γ with indexes –MGP. The indices in MGP correspond to the notation in the initial systems of DE.

Another DE system (heterogeneous twelfth order system) describes the internal SSS and the potential boundary effect with respect to functions u_0, v_0, w_2, w_4 :

$$T_{i1}u_0 + T_{i2}v_0 + T_{i3}w_2 + T_{i4}w_4 = T_{ip}p, \quad (i = 1, \dots, 4; \quad T_{ij} - \text{differential operators}). \quad (25)$$

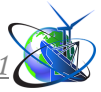
We give the forms of the general solutions of the DE of the vortex boundary effect (24) in the form:

$$\psi_2(x, y) = (\gamma_{992}\nabla^2 + \gamma_{993})\psi; \quad \psi_4 = -\gamma_{592}\psi,$$

where $\psi(x, y)$ is the fourth-order DE of $S_0\psi(x, y) = 0$, in which S_0 is the differential determinant of system (24): $S_0 = N_{4B}\nabla^4 + N_{2B}\nabla^2 + N_{0B}$; (N with indexes - MGP). Let's transform (25) by introducing new $F_j(x, y)$ ($j = 1, \dots, 4$) functions as follows:

$$u_0(x, y) = \sum_{j=1}^4 T_{j1}^0 F_j(x, y); \quad v_0(x, y) = \sum_{j=1}^4 T_{j2}^0 F_j(x, y);$$

$$w_2(x, y) = \sum_{j=1}^4 T_{j3}^0 F_j(x, y); \quad w_4(x, y) = \sum_{j=1}^4 T_{j4}^0 F_j(x, y),$$
(26)



where T_{jm}^0 is the adjuncts of system (25).

We obtain the determining system of DE with respect to $F_j(x, y)$:

$$T_0 F_j = T_{jp} p, \quad (j = 1, 2, 3, 4), \quad (27)$$

where T_0 is the determinant of the system of DE (25): $T_0 = \nabla^4 \sum_{i=0,2}^8 N_{iII} \nabla^i$, $(N_{0II}, \dots, N_{8II} - \text{MGP})$.

The forms of the general solutions of the DE system (27) are as follows:

$$F_1(x, y) = F_{1B}(x, y) + F_{1II}(x, y) + F_{1r}(x, y); \quad F_j(x, y) = F_{jr}(x, y), \quad (j=2, 3, 4), \quad (28)$$

where $F_{1B}(x, y)$ is the general solution of the equation $\nabla^4 F_1 = 0$; $F_{jr}(x, y)$ are partial solutions of four heterogeneous twelfth order DE (26); $F_{1II}(x, y)$ is the general solution of the eighth-order homogeneous DE $(N_{8II} \nabla^8 + N_{6II} \nabla^6 + N_{4II} \nabla^4 + N_{2II} \nabla^2 + N_{0II}) F_1 = 0$. Functions F_{1B} and F_{jr} determine the internal SSS, and F_{1II} the potential marginal effect.

Based on (26) and (28), we obtain u_0, v_0, w_2, w_4 in the form:

$$\begin{aligned} u_0(x, y) &= T_{11}^0 (F_{1B} + F_{1II}) + \sum_{j=1}^4 T_{j1}^0 F_{jr}; \quad v_0(x, y) = T_{12}^0 (F_{1B} + F_{1II}) + \sum_{j=1}^4 T_{j2}^0 F_{jr}; \\ w_2(x, y) &= T_{13}^0 (F_{1B} + F_{1II}) + \sum_{j=1}^4 T_{j3}^0 F_{jr}; \quad w_4(x, y) = T_{14}^0 (F_{1B} + F_{1II}) + \sum_{j=1}^4 T_{j4}^0 F_{jr}. \end{aligned}$$

The components in displacements $u_2(x, y), v_2(x, y), u_4(x, y), v_4(x, y)$ are from system (18):

$$\begin{aligned} u_k(x, y) &= \sum_{i=0,2}^4 (\lambda_{k\varphi i} \varphi_{i,x} + \lambda_{k\psi 2} \psi_{2,y} + \lambda_{k\psi 4} \psi_{4,y} + \lambda_{kw2} w_{2,x} + \lambda_{kw4} w_{4,x} + \lambda_{kp} p_x); \\ v_k(x, y) &= \sum_{i=0,2}^4 (\lambda_{k\varphi i} \varphi_{i,y} - \lambda_{k\psi 2} \psi_{2,x} - \lambda_{k\psi 4} \psi_{4,x} + \lambda_{kw2} w_{2,y} + \lambda_{kw4} w_{4,y} + \lambda_{kp} p_y), \quad (k = 2, 4); \\ \varphi_i(x, y) &= a_{\varphi i p} p + a_{\varphi i 0} \varphi_0 + (b_{\varphi i 2} \nabla^2 + b_{\varphi i 0}) w_2 + (c_{\varphi i 2} \nabla^2 + c_{\varphi i 0}) w_4, \quad (i = 2, 4); \\ \varphi_0(x, y) &= \partial u_0 / \partial x + \partial v_0 / \partial y; \end{aligned}$$

where λ, a, b, c with indexes—MGP.

4.2. The deformation is skew symmetric (approximation K135).

After algebraic and differential transformations of system (19), we obtain two systems of DE. One system (homogeneous sixth-order system) describes the vortex boundary effect:

$$H_{i1} \psi_1 + H_{i3} \psi_3 + H_{i5} \psi_5 = 0; \quad (i = 1, 3, 5), \quad (29)$$

where H_{ij} ($j = 1, 3, 5$) is the differential operators of zero and second order.

Another system of DE (inhomogeneous twelfth order system) describes the internal SSS and the potential boundary effect with respect to $w_1(x, y), w_3(x, y), w_5(x, y)$ functions:

$$\Pi_{i1} w_1 + \Pi_{i3} w_3 + \Pi_{i5} w_5 = \Pi_{iq} q \quad (i = 1, 3, 5), \quad (30)$$

where

$$\Pi_{11} = \mu_{114} \nabla^4 + \mu_{112} \nabla^2; \quad \Pi_{13} = \mu_{134} \nabla^4 + \mu_{132} \nabla^2 + \mu_{130}; \quad \Pi_{15} = \mu_{154} \nabla^4 + \mu_{152} \nabla^2 + \mu_{150};$$



$$\begin{aligned} \Pi_{1q} &= \mu_{12} \nabla^2 + \mu_{10}; \Pi_{31} = \mu_{314} \nabla^4 + \mu_{312} \nabla^2; \Pi_{33} = \mu_{334} \nabla^4 + \mu_{332} \nabla^2 + \mu_{330}; \\ \Pi_{35} &= \mu_{354} \nabla^4 + \mu_{352} \nabla^2 + \mu_{350}; \Pi_{3q} = \mu_{32} \nabla^2 + \mu_{30}; \Pi_{51} = \mu_{514} \nabla^4 + \mu_{512} \nabla^2; \\ \Pi_{53} &= \mu_{534} \nabla^4 + \mu_{532} \nabla^2 + \mu_{530}; \Pi_{55} = \mu_{554} \nabla^4 + \mu_{552} \nabla^2 + \mu_{550}; \Pi_{5q} = \mu_{52} \nabla^2 + \mu_{50}, \\ &(\mu \text{ with indexes—MGP}). \end{aligned}$$

General solutions of the system of DE of vortex boundary effect (29) are given in the form:

$$\psi_1(x, y) = H_{11}^0 \psi(x, y); \psi_3(x, y) = H_{13}^0 \psi(x, y); \psi_5(x, y) = H_{15}^0 \psi(x, y),$$

where $H_{11}^0, \dots, H_{15}^0$ is the adjuncts of the determinant of H_0 of the system (29); $\psi(x, y)$ is determined from the sixth-order DE $H_0 \psi(x, y) = 0$; $H_0 = \sum_{i=0,2}^6 K_{iB} \nabla^i$ (K with indexes—MGP).

The general solutions of system (30) are obtained by the operator method and have the form:

$$w_k(x, y) = \Pi_{1k}^0 \Phi_1(x, y) + \Pi_{3k}^0 \Phi_3(x, y) + \Pi_{5k}^0 \Phi_5(x, y), (k=1, 3, 5), \quad (31)$$

where Π_{ij}^0 is the adjuncts of the determinant of the Π_0 system (30), $\Phi_k(x, y)$ is the new sought-after function. Based on (30) and (31), we obtain the system of equations with respect to functions Φ_k :

$$\Pi_0 \Phi_i(x, y) = \Pi_{iq} q, (i=1, 3, 5), \quad \Pi_0 = \nabla^4 \sum_{i=0,2}^8 K_{iII} \nabla^i, (K_{iII} - \text{MGP}). \quad (32)$$

The system of DE (32) is more convenient than (30), since the left-hand sides are identical.

Forms of general solutions of system (32) are given in the form:

$$\Phi_1(x, y) = \Phi_{1B}(x, y) + \Phi_{1II}(x, y) + \Phi_{1r}(x, y); \Phi_k(x, y) = \Phi_{kr}(x, y), (k=3, 5), \quad (33)$$

where $\Phi_{1r}, \Phi_{3r}, \Phi_{5r}$ is partial solutions of inhomogeneous DE (32); Φ_{1B} is the general solution of equation $\nabla^4 \Phi_1 = 0$; Φ_{1II} is the general solution of DE $\sum_{i=0,2}^8 K_{iII} \nabla^i \Phi_1 = 0$.

The potential boundary effect is described by common solution Φ_{1II} . The general solution Φ_{1B} of equation $\nabla^4 \Phi_1 = 0$ together with the partial solutions $\Phi_{1r}, \Phi_{3r}, \Phi_{5r}$ of three nonuniform DE of twelfth order (32) describe the internal SSS of the plates.

The solution forms for $w_1(x, y), w_3(x, y), w_5(x, y)$ based on (31) and (33) take the form:

$$w_k(x, y) = \Pi_{1k}^0 (\Phi_{1B}(x, y) + \Phi_{1II}(x, y)) + \sum_{i=1,3}^5 \Pi_{ik}^0 \Phi_{ir}(x, y), (k=1, 3, 5).$$

The $u_k, v_k, (k=1, 3, 5)$ components are determined from the transformed DE of equilibrium:

$$u_k(x, y) = \sum_{i=1,3}^5 (\lambda_{k\varphi i} \varphi_{i,x} + \lambda_{k\psi i} \psi_{i,y} + \lambda_{kw i} w_{i,x}) + \lambda_{kq} q_{,x}, (u_k, \varphi_{,x}, \psi_{,y}, w_{,x}, q_{,x} \rightarrow v_k, \varphi_{,y}, -\psi_{,x}, w_{,y}, q_{,y}),$$

where

$$\varphi_i(x, y) = \lambda_{i1} \nabla^2 w_1 + \lambda_{i2} w_3 + \lambda_{i3} \nabla^2 w_3 + \lambda_{i4} w_5 + \lambda_{i5} \nabla^2 w_5 + \lambda_{i6} q \quad (\lambda \text{ with indexes—MGP}).$$



5. Numerical results.

Here we present new numerical results for the components of the internal SSS (15)–(17) of transversely isotropic square plates, freely supported at the edges, under the action of the transverse load:

$$q(x, y) = q_{mn} \sin m\pi x/a \sin n\pi y/b; p(x, y) = p_{mn} \sin m\pi x/a \sin n\pi y/b, (q_{mn}, p_{mn} - \text{const}).$$

All SSS components (3), (12)–(17) were found for a wide class of change MGP under skew symmetry load ($p_{mn}/q_{mn} = 0$) in approximations K1, K13, K135, with load only on the upper horizontal face ($p_{mn}/q_{mn} = 1$; bend with cross compression) in approximations K01, K0-3, K0-5 and according to the exact solution of the theory of elasticity. Numerical results were obtained using the developed software package. The dimensionless SSS components were denoted by the wave: $\tilde{\sigma}_x(x, y, z) = \sigma_x/q(x, y)$; $\tilde{W}(x, y, z) = W(x, y, z)E/(qh)$.

To determine the accuracy of the constructed variant of MT, numerical studies of the SSS of a thick isotropic plate-cube ($h/a = 1$; $\nu = 0,3$; $m = n = 1$) were performed on the exact three-dimensional theory and in the approximations K1, K13, K135. The largest difference in the approximation of K13 with exact (at $z/h = -0,5$) stresses is observed for $\tilde{\sigma}_x$ and is 6.72%, and for displacements $\tilde{W}$ – 7.04%. In the K135 approximation (19), the MT variant almost accurately describes the SSS of the cube. The results obtained were compared in the approximation of K13 with the Hu-Vashitsu and Lagrange VP [21]. The analysis shows that the results of the MT variant are broadly comparable to those based on the Hu-Vashitsu VP and more accurate than those obtained from the Lagrange VP. The results of Table 1 for isotropic plates ($h/a = 1/3$; $\nu = 0,3$; $m = n = 1$; $p_{mn}/q_{mn} = 1$) show that the SSS is already more accurate in the K0-3 approximation than the other theories [1; 14; 17; 20]. The discrepancy with the exact values does not exceed 0.19%.

The MT variant in the approximations K13 and K0-3 for slowly varying loads ($m = n = 1$) with high accuracy describes the internal SSS of thick plates and almost exactly - the plates of medium thickness. The solution in the approximations K135 and K0-5 is actually accurate. This indicates the high accuracy of MT in the first approximations, which is the justification of the developed MT variant for the study of SSS plates. Table 1 shows the results for monoharmonic, and Table 2 – for polyharmonic loading.

Table 1

SSS components of the transversal isotropic square plate

($h/a = 0,5$; $G'/G = 0,1$; $E'/E = 0,1$; $\nu' = 0,1$; $\nu = 0,3$; $m = n = 1$; $p_{mn}/q_{mn} = 0$ / $p_{mn}/q_{mn} = 1$)

$\frac{z}{h}$	$\tilde{\sigma}_x$				$\tilde{W}$			
	K1 K01	K13 K0-3	K135 K0-5	Exact solution	K1 K01	K13 K0-3	K135 K0-5	Exact solution
0,5	-1,239 -1,814	-1,837 -2,366	-2,172 -2,892	-2,235 -3,011	-6,621 -6,621	-6,944 -9,040	-6,767 -8,866	-6,699 -8,770
0	0 0,5750	0 -0,0626	0 -0,126	0 0,1111	-6,621 -6,621	-5,777 -5,777	-5,740 -5,740	-5,743 -5,743
-0,5	1,239 0,6643	1,837 1,308	2,172 1,451	2,235 1,459	-6,621 -6,621	-6,944 -4,849	-6,767 -4,669	-6,699 -4,627

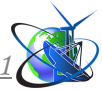


Table 2

SSS components of the transversal isotropic square plate

$(h/a = 0,1; G'/G = 0,1; E'/E = 1; \nu' = \nu = 0,3; m = n = 9; p_{mn}/q_{mn} = 0/p_{mn}/q_{mn} = 1)$

$\frac{z}{h}$	$\tilde{\sigma}_x$				$\tilde{W}$			
	K1 K01	K13 K0-3	K135 K0-5	Exact solution	K1 K01	K13 K0-3	K135 K0-5	Exact solution
0,5	-0,3786 -0,5511	-0,6304 -0,7395	-0,8975 -1,0674	-1,057 -1,240	-1,980 -1,980	-1,881 -2,102	-1,847 -2,076	-1,831 -2,050
0	0 -0,1725	0 -0,0522	0 -0,0647	0 -0,0597	-1,980 -1,980	-1,761 -1,761	-1,737 -1,737	-1,735 -1,735
-0,5	0,3786 0,2061	0,6304 0,5212	0,8975 0,7276	1,057 0,8745	-1,980 -1,980	-1,881 -1,660	-1,847 -1,618	-1,831 -1,611

Table 3

**Value of $\tilde{\sigma}_x$ for square plate ($E'/E = 1; \nu' = \nu = 0,3; m = n = 1; p_{mn}/q_{mn} = 0; z/h = 0,5;$
in the numerator–in the approximation of K13; in the denominator–exact)**

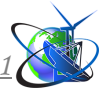
$\frac{h}{a}$	$\frac{G'}{G} = 1$	$\Delta \%$	$\frac{G'}{G} = \frac{1}{2}$	$\Delta \%$	$\frac{G'}{G} = \frac{1}{10}$	$\Delta \%$	$\frac{G'}{G} = \frac{1}{50}$	$\Delta \%$
$\frac{1}{2}$	-1,013	0,59	-1,139	2,40	-1,587	18,7	-1,910	50,7
	-1,019		-1,167		-1,951		-3,877	
$\frac{1}{5}$	-5,148	0,04	-5,322	0,09	-6,466	1,93	-9,121	15,8
	-5,150		-5,327		-6,593		-10,83	
$\frac{1}{10}$	-19,96	0,00	-20,15	0,00	-21,53	0,19	-26,87	2,86
	-19,96		-20,15		-21,57		-27,66	

Table 4

**Value of $\tilde{\sigma}_x$ for square plate ($E'/E = 1; \nu' = \nu = 0,3; m = n = 1; p_{mn}/q_{mn} = 1;$
in the numerator - in the approximation of K0-3; in the denominator - exact)**

$\frac{h}{a}$	$\frac{z}{h}$	$\frac{G'}{G} = 1$	$\Delta \%$	$\frac{G'}{G} = \frac{1}{2}$	$\Delta \%$	$\frac{G'}{G} = \frac{1}{10}$	$\Delta \%$	$\frac{G'}{G} = \frac{1}{50}$	$\Delta \%$
$\frac{1}{2}$	0,5	-1,190	1,33	-1,296	3,14	-1,692	18,8	-1,993	49,7
		-1,206		-1,338		-2,083		-3,959	
	-0,5	0,8350	0,37	0,9828	1,22	1,481	18,6	1,828	51,3
		0,8319		0,9949		1,820		3,754	
$\frac{1}{5}$	0,5	-5,243	0,04	-5,417	0,09	-6,555	1,94	-9,202	15,7
		-5,245		-5,422		-6,685		-10,91	
	-0,5	5,052	0,04	5,228	0,08	6,377	1,92	9,041	15,8
		5,054		5,232		6,502		10,74	
$\frac{1}{10}$	0,5	-20,05	0,00	-20,23	0,00	-21,61	0,18	-26,95	2,81
		-20,05		-20,23		-21,65		-27,73	
	-0,5	19,88	0,00	20,07	0,00	21,45	0,19	26,79	2,86
		19,88		20,07		21,49		27,58	

Tables 3, 4 show the values of Δ on the horizontal faces, Δ is the percentage difference between the exact values and the approximations K13, K0-3. The K0-3 approximation gives highly accurate results for a wide class of MGP plates. Bold text



highlights those values that differ from the exact values by more than 3%. The largest difference between the exact values of $\tilde{w}$ and in the approximations K13 and K0-3 for the same MGP as in tables 3, 4, is 2.27% (for $p_{mn}/q_{mn}=1$; $h/a=1/2$; $G'/G=1/50$; $z/h=-0,5$).

6. Summary and conclusions.

The following conclusions can be drawn from the described and extensive additional studies.

An efficient variant of MT is constructed, which allows to describe with any high accuracy the SSS of transversally isotropic plates of arbitrary thickness at static transverse loads within wide limits of variation of MGP. Systems of DE of equilibrium in all approximations are divided into two independent systems: one describes the SSS at symmetric deformation relative to the median plane, and the other at oblique symmetry. From them, homogeneous systems of vortex boundary effect DE and inhomogeneous ones, which describe the internal SSS with a potential boundary layer, are obtained. DE, which determine the internal SSS, and separately the potential boundary effect are derived from inhomogeneous systems by the operator method. This makes it possible to investigate separately the vortex, potential boundary effects and internal SSS. Forms of general solutions of systems of equations were obtained.

It is found that the internal SSS of the plates depends most on the thickness, transverse displacement, variability and locality of the transverse load. The impact of transverse crimping on SSS can be quite significant. The convergence of results improves with decreasing thickness and transverse shear. Increasing load variability reduces the accuracy of the results. For isotropic plates, the high-precision results for the SSS under skew-symmetric loading give an approximation of K13 at $a/m \geq 1,8h$, and for bending-crimping deformation, an approximation of K0-3 at $a/m \geq 2h$ (difference with an exact solution of less than 3%). For large load changes, higher approximations should be considered. The K135 and K0-5 approximations describe the transverse displacements with high accuracy, and the stress state needs clarification.

References:

1. Ambarcumyan S. A. (1987). Teorija anizotropnih plastin [Theory of Anisotropic Plates], Moskva, Nauka
2. Altenbach H., Eremeyev V.A. (2009). On the linear theory of micropolar plates, Journal of applied mathematics and mechanics, vol. 89, issue 4, pp. 242-256
3. Cicala R. (1959). Sulla teoria elastica della plate sottile, Giorn genio Civile, vol. 97, issue 4, pp. 238-256
4. Ebrahimi F., Nasirzadeh P. (2015). A nonlocal Timoshenko beam theory for vibration analysis of thick nanobeams using differential transform method, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, vol. 53, issue 4, pp. 1041-1052
5. Grigorenko Ya. M., Vasilenko A. T., Pankratova N. D. (1991). Zadachi teorii uprugosti neodnorodnyh tel [Problems of the theory of elasticity of inhomogeneous bodies], Kiev, Naukova dumka



6. Gulyaev V. I., Bazhenov V. A., Lizunov P. P. (1978). Neklassicheskaja teorija obolochek i ee primenenie dlja reshenija inzhenernyh zadach [Non-classical theory of shells and its application to solving engineering problems], Lvov, Izdatelstvo Lvovskogo universiteta
7. Hadji L., Meziane M. A. A., Abdelhak Z., Daouadji T. H., Bedia E. A. A. (2016). Static and dynamic behavior of FGM plate using a new first shear deformation plate theory, *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 57, issue 1, pp. 127-140
8. Homa I. Yu. (1973). Ob obshhem reshenii sistemy uravnenij ravnovesija izgiba plastin postojanno tolshhiny [On the general solution of the system of equations of equilibrium for bending plates of constant thickness], *Doklady AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences]*, no. 1, pp. 59-62
9. Jemielita G. (1991). Theory of plates, Varshava, Vidavnictvo Politehniki Varshavskoyi
10. Jemielita G. (2018). Bending analysis of plates by superposing of cylindrical deflections, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, vol. 56, issue 1, pp. 95-105
11. Kazemi M. (2018). Hygrothermoelastic buckling response of composite laminates by using modified shear deformation theory, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, vol. 56, issue 1, pp. 3-14
12. Kilchevskij N. A. (1963). Osnovy analiticheskoy mehaniki obolochek [Fundamentals of Analytical Shell Mechanics], Izdatelstvo AN USSR, Kiev
13. Kushnir R. M., Marchuk M.V., Osadchuk V. A. (2006). Nelinejnye zadachi statiki i dinamiki, podverzhennye poperechnoj deformacii sdviga i szhatija plastin i obolochek [Nonlinear problems of statics and dynamics susceptible to transverse shear deformation and compression of plates and shells], *Aktualnye problemy mehaniki deformiruемого твердого тела [Actual problems of the mechanics of a deformable solid]*, Doneck, pp. 238-240
14. Mushtari H. M. (1959) Teorija izgiba plit srednej tolshhiny [Theory of bending plates of medium thickness], *Izvestiya AN SSSR, Otdel tehnikeskikh nauk, Mehanika i mashinostroenie [Mechanics and mechanical engineering]*, vol. 2, pp. 107-113
15. Nemish Yu. N. (2000). Razvitie analiticheskikh metodov v trekhmernykh zadachah statiki anizotropnyh tel [The development of analytical methods in three-dimensional problems of the statics of anisotropic bodies], *Prikladna mehanika [Applied mechanics]*, vol. 36, issue 2, pp. 3-38
16. Nemish Yu.N., Homa I.Yu., 1991, Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie netonkih obolochek i plastin. Obobshhennaja teorija [Stress-strain state of non-thin shells and plates. Generalized theory], *Prikladna mehanika [Applied mechanics]*, vol. 29, issue 11, pp. 3-27
17. Piskunov V. G., Gurtovoj A. G., Sipetov V. S. (1984). Ob utochnenii teorii anizotropnyh plastin [On the refinement of the theory of anisotropic plates], *Prikladnaya mehanika [Applied mechanics]*, vol. 20, issue 5, pp. 82-87
18. Plehanov A. V., Prusakov A. P. (1976). Ob asimptoticheskom metode postroenija teorii izgiba plastin srednej tolshhiny [On an asymptotic method for



constructing a theory of bending of plates of medium thickness], *Mehanika tverdogo tela* [Journal of Solid State Mechanics], vol. 3, pp. 84 – 90

19. Ponyatovskij V. V. (1962). K teorii plastin srednej tolshhiny [To the theory of medium-thickness plates], *Prikladnaya matematika i mehanika* [Applied Mathematics and Mechanics], vol. 24, issue 2, pp. 335-341

20. Prisazhnyuk V. K., Piskunov V. G. (1986). Uchet poperechnogo szhatija v zadachah izgiba mnogoslownykh ortotropnykh plastin [Accounting for transverse compression in problems of bending of multilayer orthotropic plates], *Prikladnaya mehanika* [Applied mechanics], vol. 22, issue 7, pp. 66-72

21. Prusakov A. P. (1993). O postroenii uravnenij izgiba dvenadcatogo porjadka dlja poperechno-izotropnoj plastiny [On the construction of twelfth-order bending equations for a transversely isotropic plate], *Prikladnaya mehanika* [Applied mechanics], vol. 29, issue 12, pp. 51-58

22. Reissner E. (1944) On the theory of bending of elastic plates, *Journal of Mathematics and Physics*, vol. 33, pp. 184-191

23. Reissner E. (1950). On a variational theorem in elasticity, *Journal of Mathematics and Physics*, vol. 33, pp. 90-95

24. Timoshenko S. P. (1921). On the correction for shear of the differential equation for transverse vibrations of prismatic bars, *Philosophical Magazine and Journal of science*, vol. 41, issue 6, 245, pp. 744-746

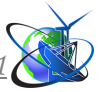
25. Vekua I. N. (1955). Ob odnom metode rascheta prizmaticheskikh obolochek [About one method for calculating prismatic shells], *Trudy Tbilisskogo matematicheskogo instituta* [Proceedings of the Tbilisi Mathematical Institute], vol. 21, pp. 191-293

26. Zelenskij A. G., Serebryanska P. A. (2007). Metod vzaiemozviazanykh rivnjan v analitychnii teorii transtropnykh plastyn z urakhuvanniam vyshchych nablyzhen [The method of interrelated equations in analytic theory of transtropic plates taking into account higher approximations], *Visnik Dnipropetrovskogo universitetu* [Bulletin of Dnipropetrovsk University], no. 2/2, *Mehanika* [Mechanics], issue 11, vol. 2, pp. 84-94

27. Zelenskyi A. H., Serebrianska P. A. (2008). Do rozrakhunku plastyn na zghyn z urakhuvanniam nablyzhen vyshchych poriadkiv [To the calculation of plates for bending taking into account higher-order approximations]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu* [Bulletin of Dnipropetrovsk University], vol. 16, no. 5, *Mekhanika* [Mechanics], issue 11, vol. 1, pp. 127–136

28. Zelenskij A. G. (2009). Modeli analitychnoi teorii transversalno-izotropnykh plastyn [Models of analytical theory of transversal-isotropic plates], *Visnik Dnipropetrovskogo universitetu* [Bulletin of Dnipropetrovsk University], vol. 17, no. 5, *Mehanika* [Mechanics], issue 13, vol. 2, pp. 54-62

Abstract. Актуальність проблеми дослідження полягає у необхідності розвинування і побудови нових варіантів математичної теорії і розробки ефективних методів, які б давали можливість визначати з високою точністю всі компоненти напружено-деформованого стану (НДС) пластин і оболонок з урахуванням крайових ефектів, і щоб розв'язування граничних задач для вказаних елементів конструкцій було простішим від розв'язку відповідних тривимірних задач теорії пружності. Метою дослідження є розвинування

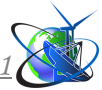


варіанту математичної теорії трансверсально-ізоотропних пластин довільної товщини при статичному навантаженні, який ґрунтується на тривимірній теорії пружності. Ураховуються всі компоненти НДС як функції трьох координат. Тривимірна задача зведена до двовимірної розкладанням усіх компонент НДС в нескінченні ряди за поліномами Лежандра по поперечній координаті, точним задоволенням граничних умов на лицевих площинах і застосуванням варіаційного принципу Рейснера. Такий метод побудови теорії дає можливість її прикладного використання для розрахунку пластин з високою точністю. Операторним методом отримані визначальні диференціальні рівняння внутрішнього НДС, потенціального і вихрового крайових ефектів. Виведені форми загальних розв'язків. Проведено аналіз отриманих аналітичних і чисельних результатів. Досліджені межі використання теорій типу Тимошенка-Рейснера. Установлено, що внутрішній НДС пластин найбільше залежить від товщини, поперечного зсуву, змінюваності та локальності поперечного навантаження. Вплив поперечного обтікання на НДС може бути достатньо суттєвим. Збіжність результатів покращується із зменшенням товщини і податливості на поперечний зсув. Зростання змінюваності навантаження зменшує точність результатів. При великих зміненнях навантаження потрібно враховувати вищі наближення.

Key words: варіант математичної теорії, трансверсально-ізоотропна пластина довільної товщини при поперечному навантаженні, операторні перетворення, форми загальних розв'язків, поліноми Лежандра.

Article sent: 06/03/2020

© Zelensky A. G.



УДК 621.317.757

DEVICE FOR MEASURING THE DEPTH OF BURNS OF BIOLOGICAL TISSUES**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЛИБИНИ ТЕРМІЧНИХ УРАЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН****Shtefura Yu.V. / Штефура Ю.В.***graduate student / аспірант**Kiev National University of Technology and Design, Kiev, Nemirovich-Danchenko, 2, 01011**Київський національний університет технологій та дизайну,**Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, 01011***Shevchenko K.L. / Шевченко К.Л.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kiev, prosp. Peremogy 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені**Ігоря Сікорського", Київ, просп. Перемоги 37, 03056***Khimicheva G.I. / Хімічева Г.І.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.**Kiev National University of Technology and Design, Kiev, Nemirovich-Danchenko, 2, 01011**Київський національний університет технологій та дизайну,**Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, 01011*

Анотація. В роботі показана необхідність ранньої діагностики глибини термічних уражень. Результати аналізу літературних джерел показали, що у вітчизняній і зарубіжній медичній практиці не застосовуються спеціалізовані вимірювальні прилади для діагностики термічних уражень. У роботі обґрунтовано можливість використання для оцінки глибини термічних уражень власного надвисокочастотного електромагнітного випромінювання живої біологічної тканини. Запропоновано схему приладу, що дозволяє здійснювати такі виміри, описаний алгоритм її роботи.

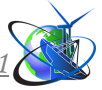
Ключові слова: біологічна тканина, термічне ураження, глибина, радіометричний метод, електромагнітне випромінювання.

Вступ

Однією з поширених форм травматизму у виробничих і побутових умовах є термічні ураження (опіки). За матеріалами Всесвітньої організації охорони здоров'я в світовій практиці термічні ураження посідають третє місце серед інших травм, а в державах пострадянського періоду на їх частку припадає понад 10% в загальній структурі травматизму [1]. Лікування опікових травм сьогодні залишається однією з найбільш складних проблем хірургії. При опіковому шоці протягом 6-8 годин після отримання термічної травми відбуваються необоротні патологічні процеси, які суттєво погіршують стан постраждалого. Тому ранній початок лікувальних заходів, що попереджають та компенсують їх, підвищує ймовірність успішного перебігу опікової хвороби і знижує отримання важких ускладнень. Але, для формування методики лікування та проведення лікувальних заходів необхідно знати ступінь термічного ураження, зокрема, його глибину.

Стан проблеми вимірювання глибини термічних уражень

Методи оцінки глибини термічного ураження поділяють на фізикальні та



інструментальні. Перші припускають використання різного роду механічних, хімічних та інших впливів на уражену тканину з наступним оцінюванням глибини ураження, результат якого носить суб'єктивний характер. Більший інтерес представляють інструментальні методи, які дозволяють без безпосереднього контакту з травмованою тканиною оцінити глибину ураження. Інформативним параметром для них є циркуляція крові в кровоносних судинах, яка порушується при термічних ураженнях [2].

До інструментальних відносять методи лазерної доплерівської флоуметрії [3, 4], доплерографічного і еластографічного ультразвукових досліджень [5], методи томографічного та рентгенографічного досліджень [6] та ін.

Проведений аналіз дозволяє зробити декілька висновків, щодо використання апаратури для інструментальної оцінки глибини термічних уражень. По-перше, у вітчизняній і зарубіжній літературі відсутня інформація про застосування в практиці діагностики глибини термічних уражень спеціалізованих вимірювальних систем. Здебільшого для діагностики глибини термічних уражень використовується апаратура іншого функціонального призначення. По-друге, використання розглянутих методів часто передбачає необхідність введення в організм додаткових препаратів і проведення хірургічних втручань, що не сприяє прискоренню лікування. По-третє, деякі методи дозволяють оцінити ступінь термічного ураження лише через декілька діб після отримання травми, що в більшості випадків неприпустимо.

Таким чином, беручи до уваги стан проблеми оцінки глибини ураження тканин при термічних впливах, вкрай важливим є розробка нових методів і засобів, що дозволяють на ранніх стадіях неінвазивно і безконтактно здійснювати таку оцінку.

Радіометричний метод вимірювання глибини термічних уражень

Одним з перспективних методів, що дозволяють оцінювати глибину ураження біологічних тканин, є радіометричний метод.

Відомо [7], що одним з проявів активності живих клітин організмів є власне електромагнітне випромінювання (ЕМВ) надвисокочастотного (НВЧ) діапазону. Інтенсивність власного НВЧ випромінювання визначається активністю метаболічних процесів в біологічних тканинах. Рівень цього випромінювання дуже малий ($10^{-14} \dots 10^{-15}$ Вт) і воно порівняно з рівнем радіотеплового випромінювання діелектриків.

Випромінювальна здатність будь-яких нагрітих об'єктів в мікрохвильовому діапазоні підкоряється закону Релея-Джинса

$$B = 2f^2 kT\beta / C^2,$$

де: f - частота, k - постійна Больцмана, T - температура, β - коефіцієнт випромінювання, C - швидкість світла у вакуумі.

Живим біологічним тканинам властиве ЕМВ нетеплового характеру в діапазоні 30...500 ГГц. Джерелом ЕМВ є акустoeлектричні процеси, що відбуваються в мембранах клітин. Їх інтенсивність характеризує взаємодію білкових молекул і внутрішньоклітинних структур. Щільність випромінюваних клітинами когерентних електромагнітних хвиль вже на малій відстані від їх поверхні знижується в багато разів. Причому це зниження супроводжується



стохастизацією випромінювання. В результаті когерентне випромінювання окремих клітин перетворюється в шумове ЕМВ, яке додається до радіотеплового ЕМВ, що також має шумовий характер.

Тому для визначення глибини ураження біологічної тканини необхідно вимірювати слабе біоінформаційне ЕМВ в НВЧ діапазоні на тлі більш потужного радіотеплового випромінювання.

Пристрій для вимірювання глибини термічних уражень

Задача вимірювання слабого біоінформаційного ЕМВ в НВЧ діапазоні на тлі більш потужного радіотеплового випромінювання є досить складною. Додатковою проблемою є те, що сумарна потужність теплового і біоінформаційного випромінювання на кілька порядків менше потужності власних шумів сучасної електронної вимірювальної апаратури.

На рис. 1 представлена розроблена авторами функціональна схема пристрою для вимірювання глибини термічних уражень за рівнем власного електромагнітного випромінювання біологічних тканин.

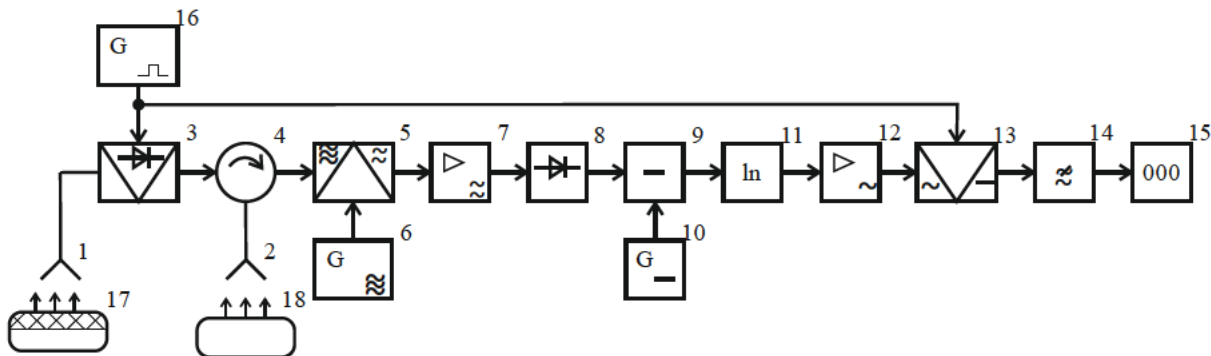
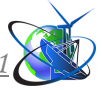


Рис. 1. Функціональна схема пристрою для вимірювання глибини термічних уражень за рівнем власного електромагнітного випромінювання біологічних тканин.

На схемі позначені: 1, 2 - вимірювальна і опорна приймальні антени; 3 - керований НВЧ відбивач; 4 - циркулятор; 5 - змішувач; 6 - НВЧ гетеродин; 7 - підсилювач проміжної частоти; 8 - амплітудний детектор; 9 – пристрій, що реалізує функцію віднімання; 10 - джерело постійної напруги; 11 - логарифматор; 12 - підсилювач низької частоти; 13 - синхронний детектор; 14 - фільтр нижніх частот; 15 - вольтметр; 16 – низькочастотний мультивібратор; 17 - аналізований фрагмент ураженої тканини; 18 - фрагмент здорової тканини.

Пристрій працює наступним чином. Радіотеплове і біологічне ЕМВ від вимірювальної приймальної антени 1, яка взаємодіє з аналізованим фрагментом ураженої біологічної тканини, надходить на вхід керованого НВЧ відбивача 3. Вихід керованого відбивача підключений до одного з входів циркулятора 4. Радіотеплове випромінювання від опорної приймальної антени 2, що взаємодіє з неушкодженим фрагментом біологічної тканини 18, надходить безпосередньо на другий вхід циркулятора 4.

НВЧ відбивач 3 на р-і-п діодах працює за принципом повного відбиття, коли на його керуючий вхід подано напругу. Періодична зміна режиму



відбивача (відбиває - пропускає) здійснюється прямокутними імпульсами напруги модуляції, яка формується низькочастотних мультівібратором 16.

В один напівперіод напруги модуляції низької частоти, коли НВЧ відбивач 3 пропускає випромінювання, на вхід змішувача 5 надходить шумовий сигнал з дисперсією

$$\bar{U}_{11}^2 = K_1(\bar{U}_{21}^2 + \bar{U}_3^2 + \bar{U}_4^2), \quad (1)$$

де $\bar{U}_{21}^2$ - дисперсія радіотеплового випромінювання аналізованого фрагмента тканини; $\bar{U}_3^2$ - дисперсія біоінформаційного випромінювання життєздатних клітин аналізованого фрагменту біологічної тканини; $\bar{U}_4^2$ - дисперсія власних шумів змішувача, приведених до його входу; K_1 - коефіцієнт передачі НВЧ тракту.

В інший напівперіод напруги модуляції, коли НВЧ відбивач 3 закритий і повністю відбиває випромінювання, шумовий сигнал з виходу вимірювальної антени 1 відбивається. У той же час вихідний сигнал опорної антени 2 проходить через циркулятор 4, відбивається від закритого НВЧ відбивача 3 і знову через циркулятор 4 надходить на вхід змішувача 5. Дисперсія вхідного сигналу змішувача в цьому напівперіоді приймає значення

$$\bar{U}_{12}^2 = K_1(\bar{U}_{22}^2 + \bar{U}_4^2), \quad (2)$$

де $\bar{U}_{22}^2$ - дисперсія радіотеплового випромінювання живого фрагменту біологічної тканини.

При періодичній роботі НВЧ відбивача 3 на вході змішувача 5 формується модульований по амплітуді сигнал, що складається з пакетів шумових сигналів з дисперсіями (1) і (2). Частота модуляції задається частотою перемикання мультівібратора Ω .

З урахуванням реального співвідношення складових сигналів (1) і (2), коли $\bar{U}_4^2 \gg \bar{U}_{21}^2 = \bar{U}_{22}^2 \gg \bar{U}_3^2$, глибина модуляції M вхідного сигналу змішувача 5 мала і представляється виразом

$$M_1 = \frac{\bar{U}_{11}^2 - \bar{U}_{12}^2}{\bar{U}_{11}^2 + \bar{U}_{12}^2} = \frac{\bar{U}_3^2}{2(\bar{U}_4^2 + \bar{U}_{21}^2)}. \quad (3)$$

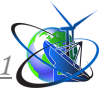
За допомогою сигналу НВЧ гетеродина 6 спектр НВЧ випромінювання переноситься на проміжну різницеву частоту ω_0 . Саме на цю частоту налаштований вибіркоковий підсилювач 7 проміжної частоти. Ширина спектру $\Delta\omega$, що переноситься, визначається смугою пропускання підсилювача проміжної частоти з центральною частотою $\omega_0 \gg \Omega$. В один напівперіод роботи відбивача 3 ($\pi/\Omega \gg \pi/\omega_0$) дисперсія вузькосмугового шумового сигналу на виході підсилювача 7 проміжної частоти

$$\bar{U}_{51}^2 = K_1 S_1 K_2 [\bar{U}_{21}^2(\omega_0) + \bar{U}_3^2(\omega_0) + \bar{U}_4^2(\omega_0)]. \quad (4)$$

В інший напівперіод

$$\bar{U}_{52}^2 = K_1 S_2 K_2 [\bar{U}_{22}^2(\omega_0) + \bar{U}_4^2(\omega_0)]. \quad (5)$$

Пакети сигналів проміжної частоти ω_0 з дисперсіями (4) і (5) по черзі надходять на амплітудний детектор 8 з квадратичною характеристикою. На



виході детектора формуються відеоімпульси з амплітудами, які пропорційні дисперсії детектованих сигналів

$$U_{61} = K_1^2 S_1^2 K_2^2 S_2 [\bar{U}_{21}^2(\omega_0) + \bar{U}_3^2(\omega_0) + \bar{U}_4^2(\omega_0)], \quad (6)$$

$$U_{62} = K_1^2 S_1^2 K_2^2 S_2 [\bar{U}_{22}^2(\omega_0) + \bar{U}_4^2(\omega_0)], \quad (7)$$

де S_2 - крутість перетворення квадратичного детектора.

Відеоімпульси U_{61} і U_{62} по черзі надходять на один вхід пристрою віднімання 9, інший вхід якого підключено до джерела постійної напруги 10. Постійна напруга встановлюється з умови компенсації власних шумів змішувача 5, що впливають на глибину модуляції (3)

$$U_7 = K_1^2 S_1^2 K_2^2 S_2 \bar{U}_4^2(\omega_0). \quad (8)$$

При виконанні умови (8) амплітуди відеоімпульсів на виході пристрою, що реалізує функцію віднімання, приймають значення

$$U_{81} = K_1^2 S_1^2 K_2^2 S_2 K_3 [\bar{U}_{21}^2(\omega_0) + \bar{U}_3^2(\omega_0)], \quad (9)$$

$$U_{82} = K_1^2 S_1^2 K_2^2 S_2 K_3 \bar{U}_{22}^2(\omega_0), \quad (10)$$

де K_3 - коефіцієнт передачі пристрою, що реалізує функцію віднімання.

Після функціонального перетворення відеоімпульсів в логарифматорі 11 їх амплітуди приймають остаточний вигляд

$$U_{91} = S_3 \ln \{ K_1^2 S_1^2 K_2^2 S_2 K_3 [\bar{U}_{21}^2(\omega_0) + \bar{U}_3^2(\omega_0)] \}, \quad (11)$$

$$U_{92} = S_3 \ln [K_1^2 S_1^2 K_2^2 S_2 K_3 \bar{U}_{22}^2(\omega_0)], \quad (12)$$

де S_3 - крутість логарифмічного перетворення.

Глибина амплітудної модуляції послідовності відеоімпульсів збільшується і з урахуванням рівності $\bar{U}_{21}^2 = \bar{U}_{22}^2$ приймає значення

$$M_2 = \frac{U_{91} - U_{92}}{U_{91} + U_{92}} = \frac{\ln \left[\frac{\bar{U}_{21}^2(\omega_0) + \bar{U}_3^2(\omega_0)}{\bar{U}_{21}^2(\omega_0)} \right]}{\ln \left\{ (K_1^2 S_1^2 K_2^2 S_2 K_3)^2 [\bar{U}_{21}^2(\omega_0) + \bar{U}_3^2(\omega_0)] \bar{U}_{21}^2(\omega_0) \right\}}. \quad (13)$$

Підсилювачем 12 низької частоти з послідовності відеоімпульсів виділяється і підсилюється змінна складова частоти Ω з амплітудою

$$U_{10} = K_4 \frac{U_{91} - U_{92}}{2} = \frac{1}{2} S_3 K_4 \ln \frac{\bar{U}_{21}^2 + \bar{U}_3^2(\omega_0)}{\bar{U}_{21}^2(\omega_0)}. \quad (14)$$

де K_4 - коефіцієнт підсилення підсилювача низької частоти.

Вираз (14) можна представити у вигляді

$$U_{10} = \frac{1}{2} S_3 K_4 \ln \left[1 + \frac{\bar{U}_3^2(\omega_0)}{\bar{U}_{21}^2(\omega_0)} \right]. \quad (15)$$

Після розкладання (15) в статичний ряд, отримуємо

$$U_{10} = \frac{1}{2} S_3 K_4 \left[\frac{\bar{U}_3^2(\omega_0)}{\bar{U}_{21}^2(\omega_0)} - \frac{\bar{U}_3^4(\omega_0)}{2\bar{U}_{21}^4(\omega_0)} + \dots \right]. \quad (16)$$

Потужність біоінформаційного випромінювання значно менше потужності радіотеплового випромінювання ($\bar{U}_3^2 \ll \bar{U}_{21}^2$). Тому другим і наступним членами ряду (16) можна знехтувати. Тоді напруга на виході підсилювача



$$U_{10} = \frac{1}{2} S_3 K_4 \frac{\overline{U}_3^2(\omega_0)}{\overline{U}_{21}^2(\omega_0)}. \quad (17)$$

Напруга U_{10} випрямляється синхронним детектором 13, який управляється прямокутним напругою мультівібратора 16, і згладжується фільтром 14 нижніх частот. Вихідна постійна напруга вимірюється вольтметром 15.

З виразу (17) випливає, що покази вольтметра 15 пропорційні відношенню потужності біоінформаційного і радіотеплового випромінювання

$$\alpha = K_0 \frac{\overline{U}_3^2(\omega_0)}{\overline{U}_{21}^2(\omega_0)}, \quad (18)$$

де α - покази вольтметра 15; $K_0 = \frac{1}{2} S_3 K_4$ - коефіцієнт пропорційності.

Співвідношення потужності і є мірою рівня ЕМВ життєздатних клітин біологічної тканини. Отримане співвідношення визначається інтенсивністю біохімічних процесів в живих тканинах і дозволяє оцінити глибину термічного ураження.

Можливість використання приймальних антен з різною геометрією дозволяє локалізувати площу досліджуваного фрагменту тканини в межах від декількох квадратних міліметрів до декількох десятків сантиметрів.

Незалежність коефіцієнта η від маси пояснюється тим, що потужність як біоінформаційного так і радіотеплового випромінювання пропорційна ефективній площі приймальних антен. Крім того, відношення потужностей, що вимірюється, не залежить від передавальних властивостей з'єднувальних хвилеводів (K_1), мінливості крутості гетеродинного перетворення спектра порівнюваних сигналів (S_1), нестабільності коефіцієнта підсилення вибіркового підсилювача проміжної частоти (K_2), чутливості амплітудного детектора (S_2) та коефіцієнта передачі пристрій, що реалізує функцію віднімання (K_3).

Висновки

В результаті аналізу стану проблеми діагностики глибини термічних уражень біологічних тканин зроблено висновок про необхідність розробки спеціалізованої діагностичної апаратури. Показана принципова можливість і перспективність використання для цих цілей радіометричних методів вимірювання, що дозволяють здійснювати оцінку рівня власного електромагнітного випромінювання живих тканин в надвисокочастотному діапазоні. Наведено функціональну схему пристрою, що забезпечує можливість реалізації таких вимірювань. Використання двох прийомних антен забезпечує мінімізацію впливу радіотеплової складової випромінювання і виділення біоінформаційної складової, зумовленої активністю клітин біологічної тканини. А зіставлення біоінформаційної і радіотеплової складових дозволяє оцінити глибину термічного ураження.

Література:

1. Колкутин, В.В. Оценка тяжести вреда здоровью при ожоговых поражениях. В.В. Колкутин, С.Г. Шаповалов, И.А. Толмачев и соавт. / Воен.-мед. журн. – 2009. – № 3. – С. 20.



2. Парамонов Б.А., Порембский Я.О., Яблонский В.Г. Ожоги. Руководство для врачей. — СПб.: Спецлит, 2000. — 488 с.
3. Holland A.J., Martin HC, Cass DT. Laser Doppler imaging prediction of burn wound outcome in children // Burns. - 2002. - Feb; 28 (1), - P.11-17.
4. Спосіб діагностики глибини дермальних опіків. Патент №29466 UA. Опубл. 10.01.2008, бюл. №1.
5. Спосіб ультразвукової діагностики глибини опіків. Патент № 100841U UA. Опубл. 10.08.2015, бюл. №15.
6. Спосіб визначення об'єму загинувших тканин при опіках IV ступеня. Патент № 30566 A UA. Опубл. 15.11.2000, бюл. №19.
7. Y. Skripnik, S. Sitko, K. Shevchenko, A. Yanenko. The development of methods of the super weak intensity radiations measurement from physical and biological objects// 10th IMEKO TC7 International Symposium on Advances of Measurement Science. June 30 – July 2, 2004, Saint-Petersburg, Russia. V.2, p.311 – 315.

Abstract. The need for early diagnosis of the depth of thermal burns is shown in the paper. Thermal burn injuries represent more than 10% of the total number of injuries. Modern methods for estimating the depth of thermal injuries are analyzed. Nowadays, laser and ultrasound, X-ray and tomographic methods are the most widely used methods of assessing the depth of thermal damage. It is concluded that in medical practice do not use specialized measuring systems for the diagnosis of burn injuries. This makes the development and creation of such equipment relevant. Therefore, the purpose of the article is to develop a new method and device for non-invasive and non-contact evaluation of the depth of burns of biological tissues. The mechanism of origin of own electromagnetic radiation of biological tissues is disclosed. The difference between radio thermal and bioinformatics component of biological electromagnetic radiation of biological tissues is shown. The possibility of using own microwave electromagnetic radiation to estimate the depth of burns of biological tissues is substantiated in the article. Functional scheme of the device for measuring the depth of burns of biological tissues is considered. Algorithm of operation of the device is described. The possibility of minimizing measurement errors from the instability of the parameters of the transform elements of the circuit is shown.

Key words: biological tissue, thermal damage, depth, radiometric method, electromagnetic radiation.

Статья отправлена: 09.03.2020 г.

© Штефура Ю.В.



УДК 664.859

USE OF PLANT RAW MATERIALS FOR THE ENRICHMENT OF
COTTAGE CHEESES OF ANTIOXIDANT ACTIONВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ
КИСЛОМОЛОЧНИХ СИРІВ АНТИОКСИДАНТНОЇ ДІЇ

Goiko I. Yu. / Гойко І.Ю.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

Stetsenko N.O. / Стеценко Н.О.

c.c.s., as.prof. / к.х.н., доц.

ORCID: 0000-0001-6710-024X

National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrska str. 68, 01601

Національний університет харчових технологій, Київ, вул. Володимирська 68, 01601

Анотація. В роботі обґрунтовано перспективи використання рослинної сировини, а саме екстрактів кропиви дводомної (*Urtica dioica* L.), шавлії лікарської (*Salvia officinalis*), череди трироздільної (*Bidens tripartita* L.), чабрецю звичайного (*Thymum*), звіробою звичайного (*Hypericum perforatum* L.), зелені петрушки (*Petroselinum crispum*), кріпу запашного (*Anethum graveolens*) у виробництві кисломолочних сирів антиоксидантної дії. Досліджено біохімічний склад екстрактів та їх антиоксидантну активність. За органолептичними показниками та харчовою комбінаторикою розроблено фітокомпозиції рослинних екстрактів.

Ключові слова: рослинна сировина, кисломолочний сир, антиоксидантна активність, фітокомпозиції.

Вступ. Кисломолочні продукти дуже легко засвоюються організмом людини, сприяють травленню, а головне – регулюють склад і активність мікрофлори кишечника, бо в ній знаходиться величезна кількість мікроорганізмів, які викликають розпад залишків білкової їжі.

Відомо, що для нормального функціонування організму потрібно забезпечення його необхідною кількістю енергії, білків і незамінних компонентів їжі. Цим вимогам найкраще відповідають кисломолочні продукти, збагачені сировиною рослинного походження. Рослини є історично першим і найстародавнішим джерелом біологічно активних речовин (БАР). Їх дія проявляється в активізації імунної системи організму, запобіганні запальних процесів, в зменшенні больових відчуттів тощо. Тому доцільним є поєднання молочної основи з рослинною сировиною, яка є природним джерелом вітамінів, мінералів, цукрів, крохмалю, органічних кислот та пектинових речовин.

Мета статті – обґрунтувати доцільність використання нетрадиційної рослинної сировини та підібрати склад фітокомпозицій для збагачення кисломолочних сирів.

Предмети та методи досліджень. За літературними даними [1 – 2] була обрана рослинна сировина, що містить значну кількість БАР, яка доступна і перспективна для використання у виробництві нових видів продуктів оздоровчої дії, а саме – кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), шавлія лікарська (*Salvia officinalis*), череда трироздільна (*Bidens tripartita* L.), чабрець звичайний (*Thymum*), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), зелень петрушки (*Petroselinum crispum*), кріп запашний (*Anethum graveolens*).

Обрана сировина містить вітаміни групи В, К, Е, С, хлорофіл, каротиноїди,



залізо, кумарини, флавоноїди (кропива дводомна), терпени, дубильні речовини, тритерпеноїди, органічні кислоти, вітаміни групи В, флавоноїди (шавлія лікарська), флавоноїди, вітамін С, дубильні речовини, марганць (череда трироздільна), ефірну олію, ліналол, борнеол, органічні кислоти, флавоноїди, дубильні речовини (чабрець звичайний), дубильні речовини, флавоноїди, сапоніни, барвники, ефірну олію, каротин, вітамін С (звіробій звичайний), бета-каротин, калій, кальцій, магній, мідь, вітаміни: С, К, РР, Е, В1, В2, фолієва кислота, біотин, холін, залізо, марганець, цинк, селен, натрій, фосфор (зелень петрушки), хлорофіл, каротин, пектинові речовини, флавоноїди, калій, кальцій, фосфор, залізо, вітаміни А, В2, В6, С, РР (кріп запашний) [1, 2].

Для проведення досліджень рослинну сировину використовували у вигляді екстрактів. Кінцевий результат екстрагування визначали рефрактометричним методом, кількісний вміст флавоноїдів визначали спектрофотометрично, а аскорбінової кислоти – титриметричним методом [3]. Похибка вимірювання не перевищувала 5%, довірчий інтервал вираховували за стандартною процедурою з використанням коефіцієнта Стюдента (довірча ймовірність становить 0,95). Для оцінки антиоксидантної активності (АОА) використовували метод, який ґрунтується на різниці окисно-відновлювального потенціалу (ОВП) [4].

Результати та їх обговорення. Екстрагування рослинної сировини є складним фізико-хімічним процесом, на перебіг якого впливає ряд чинників, таких як: природа екстрагенту, ступінь подрібнення рослинного матеріалу, температура і тривалість процесу, співвідношення сировина-екстрагент. Водні екстракти рослинної сировини отримували мацерацією (настоюванням), для чого суху рослинну сировину подрібнювали до розміру часточок 2...3 мм. Параметри екстрагування варіювали в межах: гідромодуль – від 1 : 10 до 1 : 30, температура – 40... 80° С протягом 15...40 хвилин залежно від виду сировини. Вміст екстрактивних речовин (ЕР) визначали кожні 15 хв. Процес вважали завершеним, коли вміст ЕР не змінювався впродовж 15...30 хв. Екстракти охолоджували до кімнатної температури та відфільтрували.

Експериментально було встановлено оптимальні параметри екстрагування рослинної сировини: гідромодуль – 1 : 10, температура 60 – 65°С, тривалість екстрагування – 40 хв.

При органолептичній оцінці водних екстрактів визначали смак, колір, прозорість. По зовнішньому вигляду екстракти прозорі, мають колір, смак та аромат, притаманні даній сировині.

В отриманих екстрактах досліджували кількість флавоноїдів та вміст вітаміну С. Отримані дані наведено в табл. 1.

Як видно з табл. 1 сума флавоноїдів в екстрактах варіюється від 1,24 до 4,4 мг%. Найбільший вміст суми флавоноїдів має екстракт звіробою, найменший – екстракт чабрецю.

Вміст аскорбінової кислоти в екстрактах змінюється від 0,07 до 2,55 % мас. Найбільший вміст аскорбінової кислоти спостерігається у екстракті кропиви, а найменший – у екстракті череди.

Досліджували окисно-відновний потенціал (ОВП) в рослинних екстрактах. Якщо ОВП позитивний, то це вказує на окислювальну здатність розчину, а



негативний – на відновну. Тим самим величина ОВП дозволяє оцінити енергетику процесів, тобто характеризує активність іонів в окисно-відновних реакціях. Результати експериментальних досліджень АОО екстрактів, а саме відновної здатності (ВЗ), рослинної сировини наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Біохімічний склад екстрактів

Екстракти	Показник вмісту, мг %	
	сума флавоноїдів	аскорбінової кислоти
шавлії	$2,8 \pm 0,012$	$0,08 \pm 0,02$
чабрецю	$1,24 \pm 0,05$	$1,064 \pm 0,03$
череда	$2,4 \pm 0,013$	$0,07 \pm 0,03$
звіробою	$4,4 \pm 0,010$	$0,2 \pm 0,01$
петрушки	$2,22 \pm 0,04$	$1,25 \pm 0,02$
кропиви	$2,3 \pm 0,03$	$2,55 \pm 0,01$
кропу	$3,12 \pm 0,01$	$0,51 \pm 0,03$

Авторська розробка

Таблиця 2

Антиоксидантна активність водних екстрактів

№п/п	Екстракти	Середнє значення ВЗ, мВ
1	шавлії	$69,5 \pm 1,8$
2	чабрецю	$194,6 \pm 1,4$
3	череда	$138,4 \pm 1,9$
4	звіробою	$133,8 \pm 5,0$
5	петрушки	$132,8 \pm 4,5$
6	кропу	$106,3 \pm 4,0$
7	кропиви	$193,6 \pm 4,9$

Авторська розробка

Як видно з табл. 2, вся рослинна сировина містить антиоксидантні сполуки. Величина відновної здатності всіх досліджуваних екстрактів є позитивною і знаходиться в межах від 69,5 до 194,6 мВ.

Найбільшу антиокислювальну властивість мають екстракти чабрецю та кропиви. Екстракти із середньою активністю мають череда, звіробій, петрушка та кріп. Екстракт шавлії має низьку активність.

Отримані дані показують перспективність використання рослинної сировини в якості збагачувачів кисломолочних сирів антиоксидантної дії.

За органолептичними показниками та харчовою комбінаторикою, а також за біохімічним, мінеральним складом та антиоксидантними властивостями розроблено фітокомпозиції рослинних екстрактів у наступних співвідношеннях:

№1 – кропива, кріп, звіробій у співвідношенні 1 : 1 : 0,5, відповідно.

№ 2 – петрушка, шавлія, череда у співвідношенні 1 : 0,5 : 1, відповідно.

№ 3 – чабрець, кріп, петрушка у співвідношенні 0,5 : 1 : 1, відповідно.

Для дослідження сумісності композицій у поєднанні з молочною основою виготовляли модельні зразки на основі дієтичного нежирного кисломолочного



сиру. Для надання необхідних смакових якостей до зразків вводили кухонну сіль у кількості 0,4 – 0,6%.

За органолептичними показниками визначали раціональну дозу введення до складу кисломолочної основи розроблених фітокомпозицій, що становила 5...7 %. Всі зразки мають характерний для сиру кисломолочного смак, однорідну, ніжну, пластичну, помірно мазку консистенцію, приємний аромат, притаманний рослинній сировині.

Заключення та висновки. Обґрунтовано перспективи використання рослинної сировини для збагачення кисломолочних сирів.

Розроблено фітокомпозиції рослинної сировини, які можна рекомендувати для використання у складі рецептур харчових продуктів, а саме сиркових виробів, що дасть змогу розширити асортимент кисломолочних продуктів антиоксидантної дії.

Література

1. Мазнев, Н.И. Энциклопедия лекарственных растений. 3-е изд., испр. и доп. / Н. И. Мазнев. – М.: Мартин, 2004. – 496 с.
2. Формазюк, В.И. Энциклопедия пищевых лекарственных растений. Культурные и дикорастущие растения в практической медицине / В.И.Формазюк – К.: Изд-во А.С.К., 2003. – 792 с.
3. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений/ А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош и др. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 430 с.
4. Прилуцкий В.И. Окислительно-восстановительный потенциал для характеристики противокислительной активности различных напитков и витаминных компонентов/В.И. Прилуцкий//Электрохим. активация в медицине, сел. хозяйстве, пром-сти: I Междунар. симпозиум. – М., 1997. – 120 с.

References:

1. Maznev, N.I. Entsiklopediya lekarstvennykh rasteniy. 3-ye izd., iskr. i dop. / N. I. Maznev. – M.: Martin, 2004. – 496 s.
2. Formazyuk, V.I. Entsiklopediya pishchevykh lekarstvennykh rasteniy. Kul'turnyye i dikorastushchiye rasteniya v prakticheskoy meditsine / V.I.Formazyuk – K.: Izd-vo A.S.K., 2003.– 792s.
3. Yermakov A.I. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy/ A.I.Yermakov, V.V.Arasimovich, N.P. Yarosh i dr. – L.: Agropromizdat. Leningr. otd-niye, 1987. – 430 s.
4. Prilutskiy V.I. Okislitel'no-vosstanovitel'nyy potentsial dlya kharakteristiki protivokislitel'noy aktivnosti razlichnykh napitkov i vitaminnykh komponentov/V.I. Prilutskiy // Elektrokhim. aktivatsiya v meditsine, sel. khozyaystve, prom-sti: I Mezhdunar. simpozium. – M., 1997. – 120 s.

Abstract. The prospects for the use of plant raw materials, namely, extracts of nettle (*Urtica dioica* L.), sage (*Salvia officinalis*), herb tripartite (*Bidens tripartita* L.), thyme (*Thymu*), St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.), parsley (*Petroselinum crispum*), fragrant dill (*Anethum graveolens*) are substantiated for the production of cottage cheeses with antioxidant action. The biochemical composition of the extracts and their antioxidant activity were investigated. Phytocompositions of plant extracts were developed by organoleptic characteristics and food combinatorics.

Keywords: plant raw materials, cottage cheese, antioxidant activity, phytocompositions.

Стаття відправлена: 04.03.2020 р.

© Гойко І.Ю., Стеценко Н.О.



УДК 664.859.2

PROSPECTS FOR THE PRODUCTION OF CHERRY-BEET PUREE SEMI-FINISHED FOR RESTAURANT ESTABLISHMENTS**ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ВИШНЕВО-БУРЯКОВОГО ПЮРЕ НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА**

Ushchapovskyi A.O./ Ущাপовський А.О.

assistant/ асистент

ORCID: 0000-0001-7853-5070

National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrska str. 68, 01601

Національний університет харчових технологій, Київ, вул. Володимирська 68, 01601

Анотація. В роботі обґрунтовано перспективи виробництва вишнево-бурякового пюре напівфабрикату для закладів ресторанного господарства. На основі аналізу літературних джерел та власних досліджень розглянуто вміст біологічно активних сполук у свіжих ягодах вишні, та коренеплодах буряку столового та готовому пюре-напівфабрикаті. Запропоновано спосіб отримання пюре-напівфабрикату вишнево-бурякового, досліджено його органолептичні та фізико-хімічні властивості. Даний пюре-напівфабрикат вишнево-буряковий рекомендується використовувати для виробництва солодких страв та десертної продукції у закладах ресторанного господарства.

Ключові слова: ягоди вишні, коренеплоди буряку столового, пюре, напівфабрикат, солодкі страви, десерт, оздоровчий продукт.

Вступ.

Протягом останніх років виробництво солодких страв та десертів стабільно розвивається: щорічно зростають обсяги виробництва продукції та розширюється її асортимент. Популярністю у населення багатьох країн світу, в тому числі й України, користуються десертні страви [1]. Серед них особливе місце займають десерти на основі плодово-ягідної сировини.

В даний час існує стійка тенденція розширення групи оздоровчих та функціональних продуктів харчування підвищеної харчової та біологічної цінності. Необхідним є пошук нових недорогих джерел сировини, способів їх перероблення, зниження втрат біологічно активних речовин. Особливий інтерес викликає використання плодово-ягідної та овочевої сировини, біохімічний склад якої надає змогу для формування та зміни смаку, аромату, кольору харчової основи при виробництві солодких страв оздоровчого призначення [2].

Завдяки наявності широкого спектру біологічно активних речовин (вітаміни, макро-, мікроелементи, біофлавоноїди, харчові волокна, органічні кислоти тощо) ягоди вишні та коренеплоди столового буряку мають здатність підвищувати антиоксидантний захист організму людини.

Мета статті – розроблення способу виробництва вишнево-бурякового пюре-напівфабрикату для закладів ресторанного господарства та його використання в технологіях солодких страв та десертної продукції, дослідження його фізико-хімічних та органолептичних показників якості.

Предмети та методи дослідження.

Коренеплоди буряка столового мають багатий хімічний склад. Вони містять до 10 % сахарози, 1% целюлози, до 2% пектинових речовин, вітаміни групи В та близько 20 мг/% вітаміну С. Мінеральні речовини буряку столового



представлені такими макроелементами як: натрій, калій, кальцій, магній, фосфор, сірка, хлор та мікроелементами: залізо, йод, кобальт, марганець, купрум, кобальт, хром.

Завдяки вмісту бетаніну, який активує роботу гепатоцитів і попереджає їх жирове переродження, буряк повинен включатися до раціону людей, які страждають захворюванням печінки [3].

Плоди вишні є джерелом органічних кислот (лимонна, яблучна, бурштинова, фолієва, саліцилова), мікроелементів (мідь, залізо, цинк, йод, марганець, хром, фтор, молібден, бор, ванадій, кобальт, нікель, рубідій), макроелементів (калій, кальцій, фосфор, магній), а також пектинових речовин, цукрів, вітамінів. Плоди вишні покращують процеси травлення та обміну речовин, сприяють розщепленню жирової тканини [4].

При проведенні експериментальних досліджень були використані стандартні методи визначення органолептичних та фізико-хімічних властивостей рослинної сировини згідно вимог чинної нормативної документації, вміст бетаніну у коренеплодах буряку столового та пюре з нього проводили спектрофотометричним методом, антиоксидантну активність вишнево-бурякового пюре-напівфабрикату визначали методом бромної кулонометрії.

Результати та їх обговорення.

Для збагачення солодких страв та десертів при створенні оздоровчих та функціональних харчових продуктів пропонується використовувати пюре-напівфабрикат, до складу якого входить пюре з вишні та пюре з буряку столового (співвідношення 2:1).

Для одержання пюре-напівфабрикату вишневого-бурякового використовують свіжі ягоди вишні та попередньо відварені коренеплоди буряку столового.

Технологічна схема виробництва пюре-напівфабрикату вишнево-бурякового складається з декількох етапів [5, 6].

На першому етапі готується пюре з вишні. Технологія виробництва вишневого пюре передбачає інспекцію сировини, миття, калібрування, бланшування, подрібнення, перетирання та стерилізацію продукту.

На другому етапі готується пюре з коренеплодів буряку столового. Технологія виробництва бурякового пюре передбачає наступні технологічні операції: інспекцію сировини, миття, калібрування, варіння в попередньо підготовленій молочній сироватці з додаванням 1% лимонної кислоти ($t=95\ldots 100^{\circ}\text{C}$, $\tau=45\ldots 60$ хв.), охолодження, подрібнення, перетирання та стерилізацію.

На третьому етапі виробництва вишнево-бурякового пюре напівфабрикату відбувається процес змішування рецептурних інгредієнтів. Стерилізація готового пюре-напівфабрикату відбувається при температурі 105°C для запобігання мікробіологічного псування продукту. Отриманий пюре-напівфабрикат зберігають при температурі $4\ldots 6^{\circ}\text{C}$.

Нами було визначено вологість, активну та титровану кислотності, бромну антиоксидантну активність пюре-напівфабрикату вишнево-бурякового (табл. 1).



Органолептичні та мікробіологічні показники пюре-напівфабрикату вишнево-бурякового наведено у табл. 2. та табл. 3. відповідно.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники напівфабрикату вишнево-бурякового

Показник	Пюре-напівфабрикат вишнево-буряковий		
	Ягоди вишні	Буряк столовий	Пюре-напівфабрикат
Вологість, %	78,0±1,1	82,4±1,2	76,4±0,9
Активна кислотність, рН	3,75±0,1	3,56±0,1	3,9±0,2
Титрована кислотність (у перерахунку на яблучну кислоту), %	1,49±0,1	1,23±0,1	1,38±0,1
Бромна АОА, Кл/100 г	94,7	168,7	184,2

Авторська розробка

Таблиця 2

Органолептичні показники пюре-напівфабрикату вишнево-бурякового

Показник	Пюре-напівфабрикат вишнево-буряковий
Смак і запах	Приємний кисло-солодкий присмак з гармонійним поєднанням пюре з вишні та пюре з буряку столового, без сторонніх присмаків і запахів
Колір	Бордовий колір по всій масі продукту, притаманний для даної сировини
Зовнішній вигляд та консистенція	Однорідна, пластична, кремоподібна маса

Авторська розробка

Таблиця 3

Мікробіологічні показники пюре-напівфабрикату

Показник	Вимоги НД	Результати досліджень
Мезофільні аеробні та факультативно-анаеробні мікроорганізми, КУО в 1 г	Не більше $5 \cdot 10^4$	Сліди
Цвілеві міксоміцети	Не допускаються	Не виявлені
Дріжджі, КУО в 1 г	Не допускаються	Не виявлені
Молочнокислі бактерії, КУО в 1 г	Не допускаються	Не виявлені
Бактерії групи кишкової палички, КУО в 1 г	Не допускаються	Не виявлені

Авторська розробка

Також нами було досліджено вміст антоціанів, фенольних сполук та беталаїнів у вишнево-буряковому пюре напівфабрикаті, що наведені в табл.4.

Розглянуто можливість використання вишнево-бурякового пюре-напівфабрикату для виробництва солодких страв та десертів у закладах ресторанного господарства. Встановлено, що використання вишнево-



бурякового пюре у складі солодких страв та десертів дозволяє підвищити вміст біологічно активних речовин, зокрема за рахунок високого вмісту бетаїну, антоціанів, пектинових речовин (пектину і протопектину), що містяться у сировині та надає змогу зменшити загальну кількість цукру при виробництві готової продукції.

Таблица 4

Біохімічний склад плодів вишні, коренеплодів буряку стового та пюре-напівфабрикату вишнево-бурякового

Сировина	Загальний вміст фенольних сполук, мг галонової к-ти/ 100 г сировини	Загальний вміст антоціанів, мг/100 г	Вміст бетаніну, мг/100 г
Ягоди вишні	590	802	-
Буряк столовий	320	490	129
Пюре-напівфабрикат вишнево-буряковий	472	750	45

Авторська розробка

Заключення та висновки.

В роботі було проведено аналіз біохімічного складу плодів вишні та коренеплодів буряку столового, які завдяки великому вмісту біологічно активних речовин можуть бути джерелами функціональних інгредієнтів у технологіях солодких страв та десертів оздоровчого призначення.

У роботі запропоновано спосіб отримання вишнево-бурякового пюре-напівфабрикату. Також було визначено його фізико-хімічні, органолептичні показники та антиоксидантну активність. Встановлено, що для отримання вишнево-бурякового пюре із задовільними технологічними показниками співвідношення між вишневим і буряковим пюре має становити 2:1.

Вишнево-буряковий пюре-напівфабрикат рекомендується використовувати у закладах ресторанного господарства для виробництва солодких страв та десертів. Це надасть змогу отримати готову продукцію з підвищеним вмістом біологічно активних речовин та надати продукту оздоровчого ефекту.

Література:

1. Кондратюк Н.В. Наукові аспекти технології солодких страв з капсульованими пробіотичними мікроорганізмами: монограф. / Н.В. Кондратюк, Є.П. Пивоваров, О.П. Неклеса. – Харків: ХДУХТ, 2015. – 139 с.
2. Патент 109346 UA, МПК A23G 3/00 (2016.01) Помадна маса. / Янчик М.В., Неміріч О.В., Ушаповський А.О.; заявник Національний університет харчових технологій. – № u201601266; заяв. 15.02.2016; опубл. 25.08.2016, Бюл.№ 16, 2016 р.
3. Кургузова К.С., Зайко Г.М., Мищенко Е.А. Комплексное использование столовой свеклы в технологи специализированных продуктов питания // Сб. тез.



научно-прак. Конф. «Техника и технология пищевых производств».– Могилев, 2011.– 114 с.

4. Сорокопудов В. Н., Дейнека В. И., Лукина И. П., Дейнека Л. А. Антоцианы плодов некоторых видов рода *Rubus* L. из коллекции ботанического сада БелГУ // Химия растительного сырья. 2005. №4. С. 61-65.

5. Патент 130860 Україна, МПК (2016.01) A23L 21/10 Пюре-напівфабрикат вишнево-буряковий/ Ущачовський А.О., Івчук Н.П., Башта А.О.; власник НУХТ. - № u201807501 ; заявл. 04.07.2018 ; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24.

6. Патент 131283 Україна, МПК (2016.01) A23L 19/10 Спосіб отримання пюре-напівфабрикату із буряку столового/ Ущачовський А.О., Івчук Н.П., Башта А.О.; власник НУХТ. - № u 201807492 ; заявл. 04.07.2018 ; опубл. 10.01.2019, Бюл. № 1.

References:

1. Kondratiuk N.V.(2015) Naukovi aspekty tekhnolohii solodkykh strav z kapsulovany my probiotychny my mikroorhanizmy [Scientific aspects of technology of sweet dishes with encapsulated probiotic microorganisms]: monohraf. / N.V. Kondratiuk, Ye.P. Pyvovarov, O.P. Neklesa. – Kharkiv: KhDUKhT, 2015, 139 s.

2. Yanchyk M.V., Niemirich O.V., Ushchapovskyi A.O., Natsionalnyi universytet kharchovykh tekhnolohii. 2016. Pomadna masa. Patent 109346 UA, MPK A23G 3/00 (2016.01). № u201601266; zaiav. 15.02.2016; opubl. 25.08.2016, Biul. № 16.

3. Kurguzova K.S., Zayko G.M., Mischenko E.A. Kompleksnoe ispolzovanie stolovoy sveklyi v tehnologi spetsializirovanykh produktov pitaniya [The integrated use of beetroot in the technology of specialized food products] // Sb. tez. nauchno-prak. Konf. «Tehnika i tehnologiya pischevykh proizvodstv».– Mogilev, 2011.– 114 s.

4. Sorokopudov V. N., Deyneka V. I., Lukina I. P., Deyneka L. A. Antotsiany plodov nekotorykh vidov roda *Rubus* L. iz kollektzii botanicheskogo sada BelGU [Anthocyanins of fruits of some species of the genus *Rubus* L. from the collection of the Botanical Garden of BelSU] // Himiya rastitelnogo syrya. 2005. №4. S. 61-65.

5. Ushchapovskyi A.O., Ivchuk N.P., Bashta A.O., NUKhT. 2018. Piure-napivfabrykat vyshnevo-buriakovyi. Ukraina. Patent 130860, MPK (2016.01) A23L 21/10, № u201807501 ; zaiavl. 04.07.2018 ; opubl. 26.12.2018, Biul. № 24.

6. Ushchapovskyi A.O., Ivchuk N.P., Bashta A.O., NUKhT, 2019. Sposib otrymannia piure-napivfabrykatu iz buriaku stolovoho. Ukraina. Patent 131283, MPK (2016.01) A23L 19/10, № u 201807492 ; zaiavl. 04.07.2018 ; opubl. 10.01.2019, Biul. № 1.

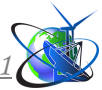
Abstract. The prospects of production of semi-finished cherry-beet puree for restaurants are substantiated in the work. The content of biologically active compounds in fresh cherry berries, as well as table beet root and semi-finished puree are examined on the basis of literature analysis and own research. A method of obtaining a cherry-beet puree is proposed, and its organoleptic and physicochemical properties are investigated. This cherry-beet puree is recommended for the production of sweet dishes and dessert products in restaurants.

Key words: cherry berries, beet root, puree, semi-finished product, sweet dishes, dessert, wellness product.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Івчук Н.П.

Стаття відправлена: 05.03.2020 г.

© Ущачовський А.О.



УДК 004.2

RESEARCH OF DIFFERENT METHODS OF INPOSITION OF COMPOSITION PROTEIN-CARBON MIXTURE IN FARCH SYSTEM ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНОЇ БІЛКОВО- ВУГЛЕВОДНОЇ СУМІШІ У ФАРШЕВІ СИСТЕМИ

Honcharenko T.Yu. / Гончаренко Т.Ю.

PhD student / аспірант

ORCID: 0000-0002-7622-2756

Topchy O.A. / Топчий О.А.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-4832-2709

National University of Food Technologies, Volodimirska str., 68, Kyiv, Ukraine, 01601

Національний університет харчових технологій,

вул. Володимирська, 68, м. Київ, Україна, 01601

Анотація. В роботі розглядаються різні способи внесення композиційної суміші на основі борошна олійних культур, тваринного білку та купажу тваринного жиру з рослинною олією у фаршеві системи посічених напівфабрикатів. Запропоновано спосіб роздільного внесення інгредієнтів, спосіб внесення попередньо приготованої пастоподібної емульсійної системи на основі композиційної суміші, а також спосіб внесення емульсійної системи у замороженому та подрібненому вигляді. Розроблено технологічну схему виготовлення посічених напівфабрикатів з роздільним внесенням інгредієнтів композиційної суміші та схему приготування емульсійної системи. Досліджено можливість зберігання борошна олійних культур та тваринного білку у вигляді сухої комплексної суміші протягом шести місяців.

Ключові слова: посічені напівфабрикати, білково-вуглеводна суміш, яловичий білок, купаж жирів, способи внесення інгредієнтів

Вступ.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку м'ясної промисловості свідчить про підвищення попиту споживача на м'ясні вироби у вигляді напівфабрикатів, що потребують мінімум часу на приготування, як у домашніх умовах, так і у закладах громадського харчування. Зростаюча потреба у м'ясних напівфабрикатах, в свою чергу, стимулює виробників до збільшення обсягів виробництва і розширення асортименту цієї групи продукції. Використання традиційної сировини в різних поєднаннях, комбінування м'ясного фаршу з сировиною тваринного і рослинного походження, використання харчових добавок, застосування сучасного обладнання та прогресивних технологій дає можливість не лише урізноманітнити асортимент виробів, що випускаються, надати продукту різних смакових відтінків, але й поліпшити функціонально-технологічні властивості фаршу, підвищити його біологічну цінність [1].

В результаті попередніх досліджень нами була розроблена композиційна білково-вуглеводна суміш (КБВС) на основі суміші насіння олійних культур [2], тваринного білку та купажу яловичого жиру з лляною олією з метою збалансування рецептури посічених напівфабрикатів за амінокислотним та жирнокислотним складом, а також розширення асортименту традиційних страв, що не містять глютен. Однак, з технологічної точки зору, важливе значення має не лише інгредієнтний склад харчової добавки, але й спосіб внесення її у



фаршеві системи. З метою забезпечення максимального технологічного ефекту, доцільно дослідити різні способи внесення розробленої композиційної суміші у фаршеві системи посічених напівфабрикатів [3].

Матеріали і методи досліджень.

Під час проведення досліджень використовували суміш частково знежиреного борошна чотирьох видів насіння олійних культур, а саме: кунжуту, льону, соняшнику та гарбуза торгівельної марки «Сто пудів», білок яловичий колагеновий «Геліос-11», жир яловичий виробничий, олію лляну холодного віджиму, м'ясо курчат бройлерів та свинину жиловану нежирну. Визначення мікробіологічних показників, кислотного та перекисного чисел проводили за традиційними методиками.

Результати досліджень.

На основі результатів попередніх досліджень з метою збалансування нутрієнтного складу посічених напівфабрикатів, і разом з тим розширення асортименту традиційних страв без глютену, нами було підібрано складові композиційної білково-вуглеводної суміші (КБВС) у наступному співвідношенні: суміш борошна чотирьох видів олійних культур у рівному співвідношенні 60%, сухий яловичий білок «Геліос-11» 15%, купаж яловичого жиру з лляною олією 25%. Рецептурний склад посічених напівфабрикатів наведений в таблиці 1.

Таблиця 1

Рецептурний склад посічених напівфабрикатів

<i>Інгредієнти</i>	<i>Кількість, %</i>
Свинина нежирна	25
М'ясо куряче	25
КБВС, в т.ч.	35
борошно кунжуту	1,4
борошно льону	1,4
борошно соняшнику	1,4
борошно гарбуза	1,4
білок тваринний	1,4
вода	21
купаж яловичого жиру з лляною олією	7
Цибуля ріпчаста свіжа	4
Морква	5
Борошно лляне для панірування	4,75
Сіль кухонна	1,2
Перець чорний мелений	0,05

Авторська розробка

Під час технологічних відпрацювань нами встановлено три можливих способи внесення КБВС до фаршу посічених напівфабрикатів. Перший спосіб (спосіб I) передбачає внесення складових суміші до фаршу окремо одна від одної. Тобто, складові не являють собою суміш, як таку, і кожен інгредієнт



міститься в окремій тарі/упаковці та не є комплексною добавкою. Суміш борошна олійних культур та яловичий білок запропоновано вносити у вигляді гелю з попередньою гідратацією в кутері. Технологічна схема виготовлення посічених напівфабрикатів за способом I наведена на рисунку 1.

Проте, використання харчових добавок у вигляді окремих інгредієнтів вимагає більш високої кваліфікації технологів, які при розробці технологічних карт того чи іншого виробу змушені приймати рішення про регламент внесення, кількість і склад цих інгредієнтів. Це також ускладнює роботу фаршескладачів, яким доводиться дозувати добавки в фарш, і, крім того, ускладнює систему складського господарства підприємства, що забезпечує умови їх належного зберігання, фасування і транспортування. У цьому полягає недолік даного способу.

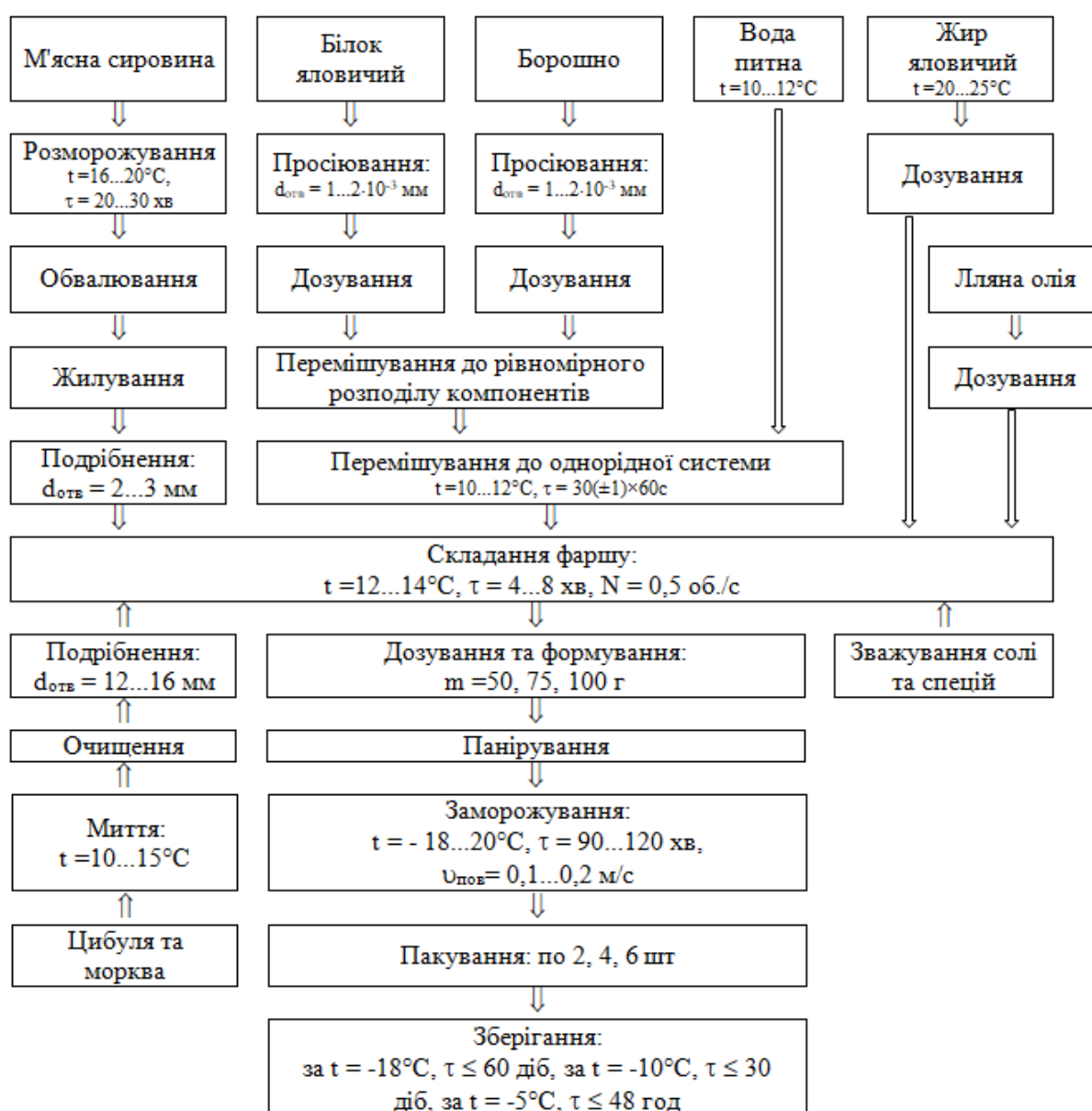


Рис.1. Технологічна схема виготовлення посічених напівфабрикатів (спосіб I)

Авторська розробка



Для того, щоб спростити і покращити спосіб роздільного внесення інгредієнтів КБВС, нами було досліджено можливість зберігання таких компонентів, як чотири види борошна олійних культур та сухий тваринний білок у вигляді сухої комплексної суміші (СКС). Визначення мікробіологічних показників суміші проводили одразу після її приготування та після зберігання впродовж 30, 90 та 180 діб у негерметичній тарі за температури не вище 20 °С у сухому чистому приміщенні за відносної вологості приміщення $\leq 75\%$. Результати наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Зміни мікробіологічних показників СКС в процесі зберігання

Назва показника	Тривалість зберігання, діб				Допустима кількість мікробних клітин
	0	30	90	180	
МАФАНМ, КУО в 1 г, не більше	$0,01 \times 10^5$	$0,02 \times 10^5$	$0,04 \times 10^5$	$0,31 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), 0,01 г	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не дозволено
Плісняві гриби, КУО в 1 г, не більше	$0,01 \times 10^3$	$0,01 \times 10^3$	$0,01 \times 10^3$	$0,04 \times 10^3$	1×10^3
Дріжджі, КУО в 1 г, не більше	Не виявлено	Не виявлено	10	25	100
Патогенні мікроорганізми, в т.ч. бактерії роду <i>Salmonella</i> в 25г	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не дозволено

Авторська розробка

Результати дослідження мікробіологічних показників СКС показали, що протягом дослідного періоду зберігання дана суміш не має ознак мікробіологічного псування. А, оскільки СКС містить частково знежирене борошно олійних культур, дослідили також стійкість суміші до окиснення (рис.2.).

Показники окиснення ліпідів СКС вказують на те, що впродовж зберігання суміші окиснювальні процеси не відрізнялися інтенсивністю, про що свідчать встановлені значення кислотного та перекисного чисел. Таким чином, підтверджена можливість зберігання чотирьох видів борошна олійних культур та сухого тваринного білку (усі п'ять компонентів у рівному співвідношенні) у вигляді сухої комплексної суміші протягом шести місяців, що дозволить скоротити час на підготовку та спростити процес внесення цих інгредієнтів у рецептуру посічених напівфабрикатів за способом І.

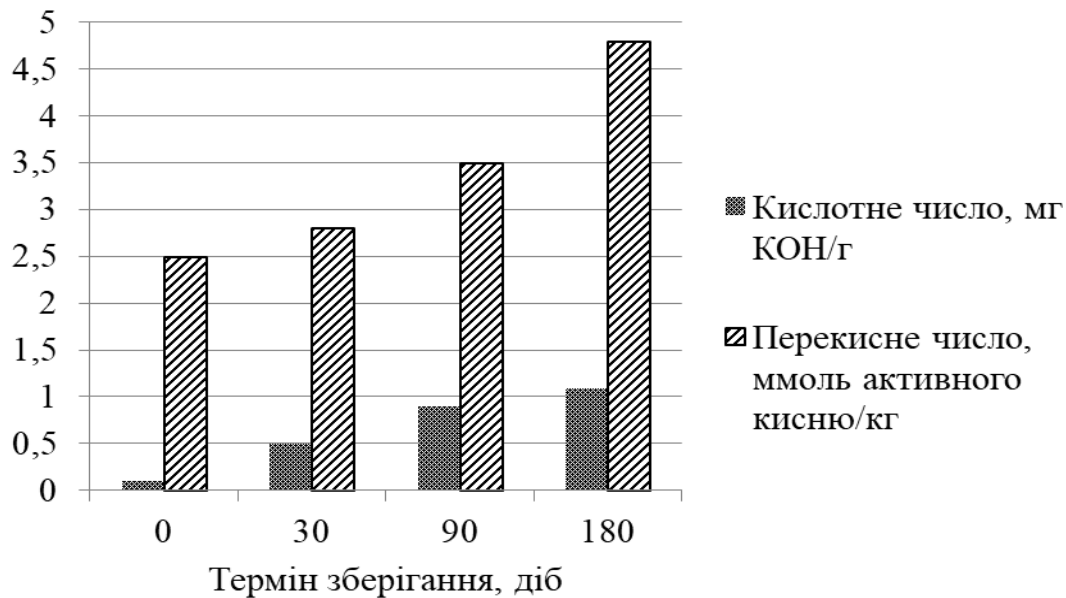
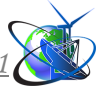


Рис.2. Зміна кислотного та перекисного чисел жиру СКС в процесі зберігання

Авторська розробка

В основу способу II покладено попередню підготовку КБВС – гідратацію та емульгування, з отриманням пастоподібної емульсійної системи та подальшим внесенням її до фаршу посічених напівфабрикатів (рис.3.).

Технологічний процес одержання емульсійної системи на основі КБВС включає механічну кулінарну обробку сипучих компонентів – тваринного білку та суміші борошна олійних культур, з метою видалення сторонніх домішок та деагломерації часточок, що утворюються під час зберігання сировини. На наступному етапі вище названі компоненти з'єднують, перемішують та додають питну воду з температурою 10-12⁰С. Систему витримують для відновлення тваринного білку протягом 30(±1)×60с за температури 10-12⁰С. Яловичий жир зважують та підігрівають до температури 42-49⁰С, за якої жир набуває рідкого стану, після чого його змішують з попередньо зваженою лляною олією і утворену олійну суміш вводять у раніше підготовлену білково-вуглеводну систему. Емульгують у кутері протягом 10-15 хвилин за температури 12...18⁰С з частотою обертів N=50об./с.

На наступному етапі досліджень було встановлено, що емульсійна система на основі КБВС може зберігатися за температури не більше двох діб, після закінчення цього терміну спостерігаються ознаки мікробіологічного псування напівфабрикату. Короткий термін зберігання є основним недоліком способу II.

Спосіб III ґрунтується на попередньому способі, але додатково включає процедуру заморожування емульсійної системи на основі КБВС з подальшим її використанням під час фаршескладання у подрібненому вигляді. Такий спосіб може бути використаний також для інших груп м'ясних продуктів, в т.ч. ковбасних виробів технологія яких передбачає тонке подрібнення основної сировини і використання лускоподібного льоду.

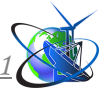


Рис.3. Технологічна схема виробництва напівфабрикату «Емульсійна система на основі КБВС» (спосіб II)

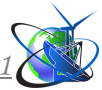
Авторська розробка

Висновки.

Таким чином, нами були запропоновані та досліджені три способи внесення композиційної білково-вуглеводної суміші у фаршеві системи посічених напівфабрикатів. Встановлено, що спосіб роздільного внесення інгредієнтів (спосіб I) відрізняється складністю їх зберігання та дозування. Було запропоновано та доведено можливість зберігання таких компонентів, як чотири види борошна олійних культур та сухий тваринний білок у вигляді сухої комплексної суміші протягом шести місяців. Спосіб II внесення КБВС у фаршеві системи полягає у приготуванні напівфабрикату «Емульсійна система на основі КБВС». Недоліком даного способу є короткий термін зберігання емульсії. Вирішенням цієї проблеми може бути заморожування емульсійної системи і використання її у складі фаршу у подрібненому вигляді (спосіб III).

Література:

1. Олійник Л. Б. Сучасні напрями вдосконалення технологій м'ясних напівфабрикатів / Л. Б. Олійник // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – 2016. – № 1 (78). – С. 22–28.
2. Topchii O. Use of oilseed polyfunctional supplements in the manufacture of meat products / O. Topchii, Ye. Kotliar, T. Honcharenko, A. Petryna, O. Tarasiuk // «Food Science and Technology». — Odessa, 2019. — Vol. 13 (2). — P. 78-86.
3. Пасічний В. М. Внесення колагенвмісних сумішей в фаршеві системи / В. М. Пасічний, М. М. Полумбрик // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З.



Гжицького. Серія : Харчові технології. - 2016. - Т. 18, № 2. - С. 150-153.

References:

1. Oliinyk L. B. Suchasni napriamy vdoskonalennia tekhnolohii m'iasnykh napivfabrykativ / L. B. Oliinyk // *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli.* – 2016. – № 1 (78). – S. 22–28.
2. Topchii O. Use of oilseed polyfunctional supplements in the manufacture of meat products / O. Topchii, Ye. Kotliar, T. Honcharenko, A. Petryna, O. Tarasiuk // *«Food Science and Technology».* — Odessa, 2019. — Vol. 13 (2). — P. 78-86.
3. Pasichnyi V. M. Vnesennia kolahenvmisnykh sumishei v farshevi systemy / V. M. Pasichnyi, M. M. Polumbryk // *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterinarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Gzhytskoho. Seriiia : Kharchovi tekhnolohii.* - 2016. - Т. 18, № 2. - S. 150-153.

Abstract. The paper discusses various ways of introducing a composite mixture based on oilseed flour, animal protein and animal fat blend with vegetable oil into the minced systems of chopped semi-finished products. A method for separately introducing ingredients, a method for introducing a previously prepared pasty emulsion system based on a composite mixture, and a method for introducing an emulsion system in frozen and ground form are proposed. A technological scheme has been developed for the manufacture of chopped semi-finished products with separate introduction of the ingredients of the composite mixture and a scheme for preparing the emulsion system. The possibility of storage of oilseed flour and animal protein in the form of a dry complex mixture for six months was investigated.

Key words: chopped semi-finished products, protein-carbohydrate mixture, beef protein, fat blend, methods of making ingredients

Науковий керівник: к.т.н., доц. Топчій О.А.

Стаття відправлена: 06.03.2020 г.

© Гончаренко Т.Ю.



UDC 664.66.022.39

BREAD PRODUCTS HIGH IN BIOLOGICALLY COMPLETE PROTEIN**Sharan A.V.***c.t.s., as.prof.***Makhynko V.M.***d.t.s., as.prof.*

ORCID: 0000-0003-2039-5137

Sharan L.O.*c.t.s., as.prof.**National University of Food Technologies, Ukraine, Kyiv, Volodymyrska str. 68, 01601*

Abstract. Bread products are traditional daily foods. However, their chemical composition is rather imbalanced. First of all, it's because of deficiency of protein which is one of the most important components of nutrition. The problem is particularly acute for people with increased need in protein consumption (people of hard physical labor, athletes, tourists, etc.). The study proposes to use vegetable protein isolates to increase nutritional and biological value of various groups of bread products. Recipes of high-protein breads and bread sticks (balls), and an innovative product – crumb briquette – were developed based on technological research. Information on nutritional, biological and energy value of the developed products are given. The study shows that protein content in the final products increased by 1.5...2.5 times, and their biological value also rose due to greater quantity of lysine. It will allow to label such bread products as high-protein products. These products are also suitable for use in tourist nutrition and may be included in dry rations of servicemen.

Key words: bread, vegetable protein, nutritional value, biological value.

Introduction.

Nutrition largely determines people's state of health and ability to work. Protein is one of the most important nutrients. Consumption of sufficient quantity of protein (subject to its high biological value) is one of the most important signs of a balanced diet. So, many countries developed protein consumption standards for people of various age, sex, and level of physical activity based on recommendations proposed by FAO/WHO. Developers of traditional foods mainly focus on young people of middle age and low level of physical loads. But for consumers with higher levels of physical activity, as well as strength athletes, tourists and servicemen, protein consumption norms are 1.5-2.5 times greater than average values [1]. That is why these consumer groups need customized high-protein products, in particular, and bakery products, as traditional everyday foods.

Main text.

Based on analysis of protein enrichers of bread products available on the market, it was proposed to use high-protein vegetable raw materials (HVRMs) in baking technology, namely, vegetable protein isolates which have high (approximately 90%) protein content and no anti-nutritional substances. They include dry wheat gluten and the following protein isolates: soy (SPI), rice (RPI) and pea (PPI).

Based on the technological research of how addition of selected types of raw materials influence the process and the quality of dough and bread making, it was proposed to use the following ratios between these recipe components and dry wheat gluten (DWG): SPI:DWG = 10:17, PPI:DWG = 10:11, RPI:DWG = 9:12 % instead



of flour portion. It was established that the two-stage method of preparing dough with addition of HVRMs at the dough kneading stage is efficient. The main indicators of nutritional and biological value of the developed types of bread compared to wheat control (without HVRMs) and protein control (with only 21% of DWG in the recipe) are given in table 1. The calculation was made according to the generally accepted methods [2].

Table 1

Nutritional and biological value of products (per 100 g)

Product	Content, g			Energy value/caloric value, kJ/kcal	Protein utilization, %	Quantity of digested protein, g
	proteins	fats	carbohydrates			
Control (wheat bread)	7.8	0.7	54.6	1018/243	44.5	3.5
Protein control	18.8	2.9	41.3	1077/257	34.0	6.4
SPI:DWG = 10:17	20.0	3.5	33.4	960/229	51.5	10.3
PPI:DWG = 10:11	16.8	3.0	38.9	1006/240	62.3	10.5
RPI:DWG = 9:12	17.8	2.63	38.1	997/238	38.0	6.8

Authoring

It was established that the total quantity of protein increased by 2...2.5 times and lysine content – by 21...60%, which caused increase of the quantity of digested protein in all the developed bread samples by 0.4...4.0 g, and growth of biological value of the proposed products by 8...14%. According to the international labeling requirements [3], all the developed types of bread may be called high-protein products, and consuming daily norm of them (about 200 g) can satisfy needs of consumers' bodies with high level of physical activity for vegetable proteins by 47...61%.

The use of DWG as a recipe component ensures better structural and mechanical properties of dough and better quality of finished products; however, it but has negative effect on their biological value. After all, DWG has less content of the limiting amino acid lysine than even wheat flour does. So, it is proposed to use HVRMs in the bread production technology where negative effect of their addition would not be so noticeable. Bread sticks and bread balls are best to meet these requirements. Their production technology provides for shorter fermentation process and adding more yeast and fat. The presence of flavors (caraway-seeds, vanillin, citrus essence) in these products' recipes will help to mask unusual taste and aroma due to the addition of legume isolates, and a lesser mass fraction of moisture (up to 10%) will ensure high concentration of protein in the finished product.

PPI and SPI are selected as protein enrichers because of their high biological value and affordable price. The following optimal HVRMs dosage was established based on the range of studies: PPI – 5%, SPI – 12% instead of flour portion. The products made under the proposed recipes have necessary consumer values, by 66.5% greater protein content (Table 2), and balanced protein-carbohydrate component (1:3.5).

**Table 2**

Comparison of chemical composition, biological and energy values of control sample and the developed products

<i>Component</i>	<i>Bread sticks “Aromatic” (control)</i>	<i>Bread sticks with PPI</i>	<i>Bread balls with SPI</i>
Proteins, g/100 g	10.8	13.9	18.0
Fats, g/100 g	4.4	4.3	3.9
Carbohydrates, g/100 g	76.9	71.5	62.9
Essential amino acids, mg:			
valine	526	653	877
histidine	227	293	508
isoleucine	547	661	885
leucine	826	1047	1388
lysine	305	536	849
methionine + cystine	340	395	468
threonine	340	447	682
tryptophan	124	145	221
phenylalanine + tyrosine	462	739	1096
Energy value/caloric value, kJ/kcal	1635/390.3	1594/380.4	1504/358.9

Authoring

Almost three-fold growth of lysine content caused increase of its amino acid rate to 98.3% (bringing thereby the product closer to the reference protein by lysine content), and 1.5-fold increase of amino acid utilization. The consumption of the proposed bread sticks and bread balls doubles (from 25 to 50%, abs.) satisfaction of body's physiological needs for vegetable protein which indicates high efficiency and prospects of using the developed low-moisture-content bread products with HVRMs as elements of nutrition in hiking and as a part of dry rations of servicemen.

The studies show that one of the factors that limit the quantity of the added HVRMs is the technology. So, requirements for “ideal” high-protein product were formulated. According to these criteria, a product that meets all the requirements was selected – it's crumb briquettes made by pressing dried bread crumbs with additional raw materials. The absence of fermentation stage allows to pick up the ratio of recipe components based on the researcher's target. And the absence of baking stage will ensure maximum preservation of the added protein substances and will not affect their biological value. The following dosages were found optimal for the crumb briquette recipe: SPI – 12%, the quantity of maltodextrin – 11.6% to crumbs mass [4]. Calculation of nutritional value of the developed briquettes showed increase (Table 3) of both the total quantity of protein in the finished products (by more than twice) and the content of the amino acid lysine, limiting for wheat flour products (by 3.5 times).

The developed crumb briquettes have by 35% (abs.) greater biological value, even compared to the high-protein breads developed by us, and also have necessary



organoleptic, physical and chemical properties that meet the main requirements for “pocket” nutrition of tourists and servicemen: low weight and volume, necessary strength, sufficient shelf life, high concentration of easily digestible carbohydrates and biologically complete protein due to the low mass fraction of moisture.

Table 3

Nutritional and biological value of the developed crumb briquettes

Element of chemical composition	Cream biscuits (control)	High-protein crumb briquettes	Deviation, %
Proteins, g/100 g	8,5	17,6	+107,2
Fats, g/100 g	10,83	1,2	-88,9
Carbohydrates, g/100 g	69,6	67,9	-2,4
Energy value/caloric value, kJ/kcal	1717/409,9	1478/352,8	-13,9
Amino acids, mg/100 g of product:			
valine	393	852	+116,8
isoleucine	359	860	+139,4
leucine	668	1355	+102,9
lysine	226	792	+250,3
methionine + cystine	302	516	+70,8
threonine	269	650	+141,8
tryptophan	85	214	+151,9
phenylalanine + tyrosine	628	1414	+125,2

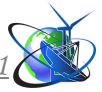
Authoring

Summary and conclusions.

Considering the requirements for chemical composition of bread products and the increased protein needs of bodies of consumers with high levels of physical activity (people of hard physical labor, tourists, strength athletes, etc.), it was proposed to use vegetable protein isolates in baking technology. It was shown that adding up to 10% of these raw materials together with 11...17% of dry wheat gluten (as a technological additive) allows to increase protein content in bakery products by 2...2.5 times with simultaneous increase of its biological value by 8...14%. Adding vegetable protein isolates (5...12%) to decreased moisture content products (bread sticks and bread balls) increases the quantity of protein by 65% and improves the protein-carbohydrate balance of the chemical composition. The developed high-protein crumb briquettes contain more than twice as much protein as traditional crumb products, and their biological value is close to the reference protein. It indicates that the purpose of the work – creating bread products of higher nutritional

References:

1. Makhynko V. M., Pisarets O. P. & Listratenko A. A. (2018). *Vysokobilkovyi khlib dlia spozhyvachiv z pidvyshchenymy bilkovymy potrebamy [High-Protein Bread for Consumers with Increased Protein Needs]* in Prodovalchi resursy: zbirnyk naukovykh prats [Food Resources: Collection of Studies], vol.10, pp. 200-205.



Retrieved from <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/27902>.

2. Drobot V. I., Yurchak V. G., Arsenieva L. Yu. et al. (2016). *Praktykum z tekhnolohichnykh rozrakhunkiv u khlibopekarskomu vyrobnytstvi [Workshop on Technological Calculations in Bread Making]* (V. I. Drobot, Ed.). Kyiv: Condor. ISBN 978-617-7278-70-1.

3. World Health Organization (WHO) & Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2007). *Codex Alimentarius. Food Labeling. Fifth edition.* Rome. ISBN 978-92-5-105840-4. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a1390e/a1390e00.pdf>.

4. Makhynko V. M., Drobot V. I. & Zemlynska M. D. (2018) *Sukharni brykety dlia spozhyvachiv z pidvyshchenymy bilkovymy potrebamy [Crumb Briquettes for Consumers with Increased Protein Needs]* in *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii [Studies of the National University of Food Technologies]*, issue 24, vol. 3. pp. 160-169. Retrieved from <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/30219>.

Article sent: 09/03/2020

© Makhynko V. M.



УДК 664.994:547

INVESTIGATION OF THE PRESERVATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF MINT IN DIFFERENT WAYS OF ITS DRYING**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБЕРЕЖЕНОСТІ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН М'ЯТИ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ЇЇ ВИСУШУВАННЯ****Sheiko T.V./ Шейко Т. В.***k.t.n./к.т.н*

ORCID: 0000-0002-0559-1335

Tkachenko S.V./ Ткаченко С. В.*k.t.n./к.т.н*

ORCID: 0000-0003-2897-8978

Kuzniestsova I. V./ Кузнєцова І. В.*d.t.n./д.т.н.*

ORCID: 0000-0001-8530-2099

Zajchuk L. P./ Зайчук Л. П.

ORCID: 0000-0001-9526-0275

Institute of Food Resources of NAAS, Ukraine, Kyiv, Sverstyuka, 4a, 02002
*Інститут продовольчих ресурсів НААН, Україна, Київ, Сверстюка, 4а, 02002***Obodovich O. M./ Ободович О. М.***d.t.n./д.т.н.***Sidorenko V.V./Сидоренко В. В.***k.t.n./к.т.н**Institute of Engineering Thermophysics, UKRAINE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES,*
Ukraine, Kyiv, Bulachovskogo, 2, 03057
Інститут технічної теплофізики, Національної академії наук України,
Україна, Київ, Булаховського, 2, 03057

Анотація. У статті досліджено зміну вмісту біологічно активних речовин м'яти, а саме вмісту вітаміну С, вмісту флаванолігнінів та антиоксидантної активності за різних температур висушування. Досліджено кінетику процесу сушіння. Побудовано криві сушіння за різних температур висушування. Описано математичну модель процесу сушіння м'яти.

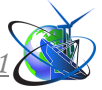
Ключові слова: рослинна сировина, м'ята, сушіння, вітаміни, біологічно активні речовини.

Вступ На сьогодні важливим є усвідомлення необхідності використання профілактичного харчування, тобто вживати харчові продукти додатково збагачені цінними та біологічно активними речовинами. Високий вміст у рослинній сировині комплексу цінних компонентів сприяє нормалізації життєво важливих процесів у організмі людини, забезпечуючи його мінеральними речовинами та вітамінами, стабілізуючи обмін речовин.

Основний текст

Однією з головних умов функціонування організму людини є наявність у раціоні біологічно активних речовин. Ця проблема потребує прийняття широкомасштабних заходів для ефективної корекції харчових раціонів.

У загальному технологічному ланцюзі сушіння рослинної сировини є дуже відповідальна і важлива операція. За неправильного сушіння можна не тільки значно зменшити, а й зовсім знищити цінні компоненти, що містяться в сировині.



Завдання правильного сушіння - якомога швидше зупинити активність ферментів, що містяться у рослинній сировині, але так, щоб діючі біологічно активні речовини залишились в максимальній кількості.

Дані досліджень

Авторами були проведені дослідження з вивчення і порівняння зміни елементного складу та біологічно активних речовин свіжої та висушеної м'яти сорту «Яблучна» [1-5].

Сушіння виконували за температури 30°C, 50°C, 70°C у якості контрольного зразка використовували свіжозібрану сировину. Сировину висушували в лабораторній автоматичній сушарці до постійної маси.

Експеримент проводили за такою наступною методикою. Температуру в доводили до необхідної, після чого в прийомник (сітчатий кошик) поміщали буюксу з матеріалом. За постійної температури через рівні проміжки часу знімали показання термометра і електронних ваг. Дослід тривав доти, поки різниця ваги між попереднім і поточним значенням впродовж декількох дослідів не ставала постійною.

Сушильна установка (рис. 1) являє собою теплоізолюваний металевий циркуляційний контур 1, у якому потік повітря створюється вентилятором 2, проходить послідовно через електричний калорифер 3 і сушильну камеру 4, у якій контактує з матеріалом, підводячи до нього теплоту і відводячи випарену вологу. Далі з сушильної камери відпрацьоване повітря переміщується через циклон 15, де видаляються захоплені частинки продукту, на вхід вентилятора 2, який забезпечує циркуляцію повітря у циркуляційному контурі сушарки. Висушуваний матеріал розміщено у коробчастому сітчастому кошику 5 (у внутрішньому просторі сушильної камери), сполученому через штангу 6 з електричними терезами 7. Сітчастий кошик 5 знімний, його можна від'єднати від штанги і вийняти із сушильної камери через боковий люк-отвір, закритий рухомим склом-шибером. Через цей шибер під час сушіння можна спостерігати за станом матеріалу. Витрати і відповідну швидкість руху нагрітого повітря в сушильній камері регулюють шибером 8 і контролюють анемометром; температури повітря до калорифера t_0 , після калорифера t_1 і після сушильної камери t_2 контролюють термометрами 9, 10, 11. Задану (потрібну) температуру повітря t_1 на вході в камеру регулюють електроконтактним термометром 12 за допомогою блока реле 13, з'єданого з електронагрівником 14 калорифера 3. Частина відпрацьованого теплоносія виводиться через патрубок з шибером 17. Свіже повітря підводиться через патрубок з шибером 18. Маса продукту в кошику вимірюється на терезах та реєструється на комп'ютері 16 через задані проміжки часу.

За результатами експериментів були розраховані поточний вологовміст матеріалу W і швидкість сушіння $\Delta W / \Delta \tau$, побудовані графіки залежності $W = f(\tau)$ і $\Delta W / \Delta \tau = f(W)$.

На рис. 2, 3 наведені експериментальні дані: розрахункові криві сушіння і швидкості сушіння.

Якщо в першому періоді швидкість процесу зумовлюється температурою і швидкістю руху (об'ємними питомими витратами) сушильного агента в



сушильній камері, то в другому періоді вона залежить від кількості та масового співвідношення різних форм фізико-хімічно зв'язаної води в матеріалі та від впливу термодифузії. Швидкість процесу сушіння в кожному з двох періодів визначають одним з доступних методів — графічним диференціюванням кривої сушіння.

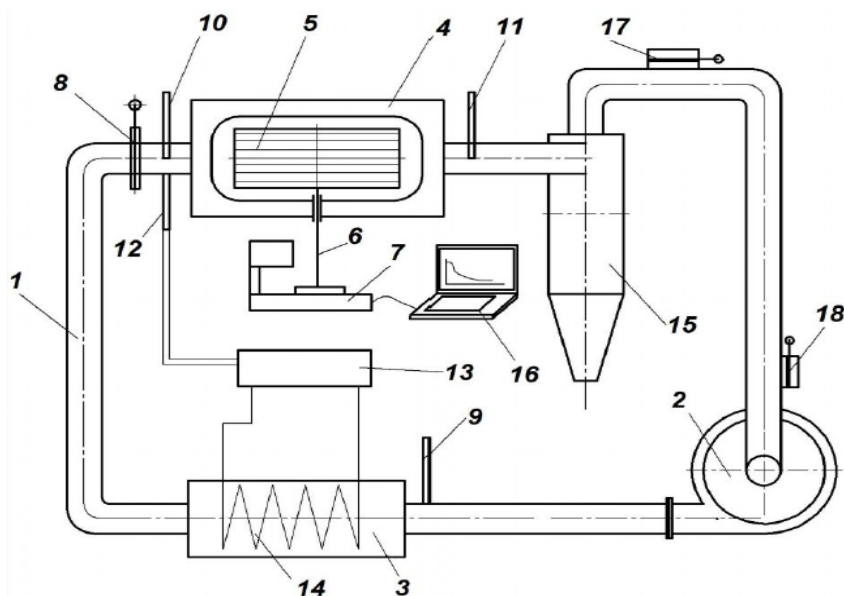


Рис. 1 Схема експериментальної установки для дослідження процесу конвективного сушіння

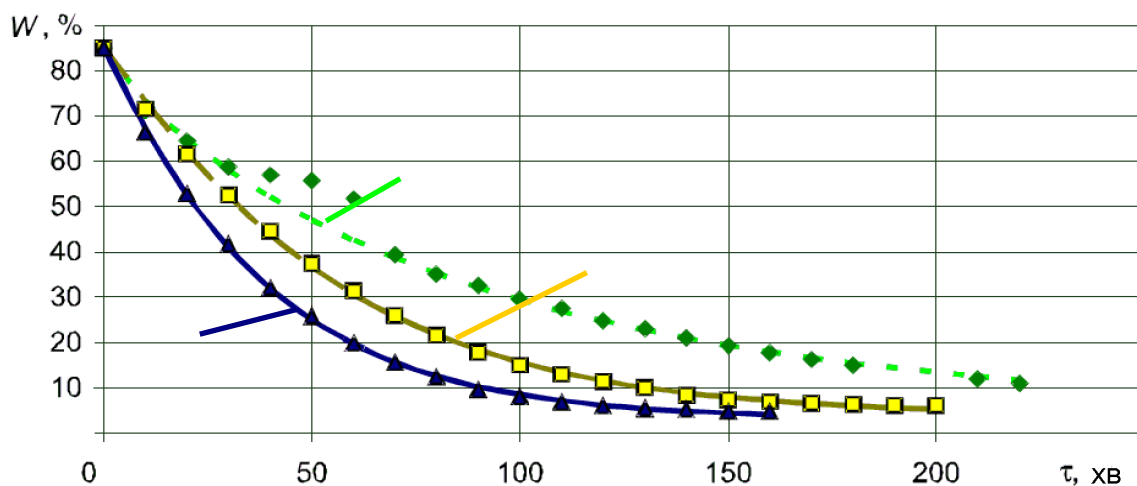


Рис. 2 Крива сушіння: 1 – температура сушіння 30°C; 2 – температура сушіння 50°C; 3 – температура сушіння 70°C.

Також було отримано математичний опис процесу сушіння рослинної сировини. Спочатку для наближеного опису кривої сушіння використовували формулу.

$$W(\tau) = W_p + (W_{кр} - W_p) \exp(-2,3K_i \tau), \quad (1)$$

де $W(\tau)$ – поточний вологовміст, W_p – рівноважний вологовміст, $W_{кр}$ – критична вологовміст, τ – час, K_i – коефіцієнт сушіння.

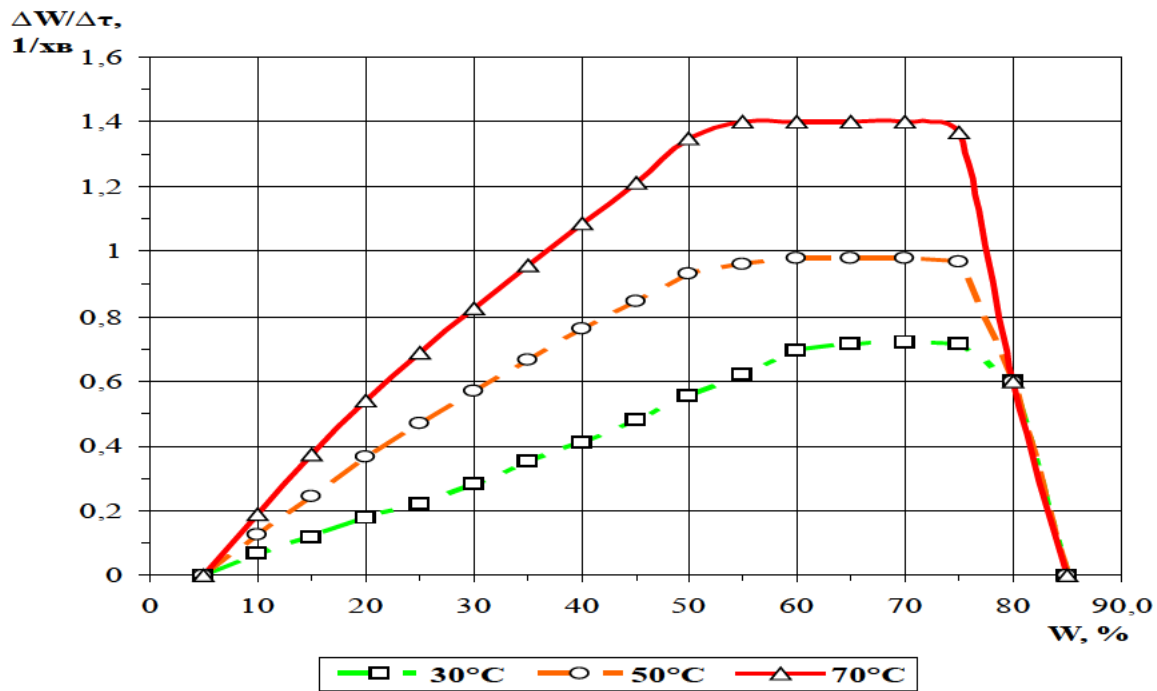


Рис. 3 Крива швидкості сушіння

Для математичного аналізу даної функції значущі параметри були замінені на варіаційні коефіцієнти (a , c , d), а функція була перетворена до виду

$$W(\tau) = c + d \exp(-a\tau), \quad (2)$$

З огляду на те, що формула (2) описує тільки другий період сушіння, ввели додатковий степеневий коефіцієнт b за параметру часу τ . Введення цього коефіцієнту дозволило описати S-подібну криву сушіння на всьому інтервалі

$$W(\tau) = c + d \exp(-a\tau^b). \quad (3)$$

На наступному етапі методами варіаційного аналізу здійснювали пошук вирішення рівняння (3), що забезпечило б найменше відхилення розрахункових і експериментальних даних по кінетиці сушіння. Варіюванню піддавали всі коефіцієнти послідовно, попарно або одночасно.

Після дослідження отриманих явних математичних залежностей і порівняння їх з початковими і граничними значеннями зміни вологості було встановлено, що коефіцієнт c відповідає рівноважній вологості висушуваного матеріалу W_p , а коефіцієнт d може бути визначений як різниця початкової і рівноважної вологості $W_n - W_p$.

Відповідно вираз, що описує S-подібні криві сушіння рослинної сировини набуде вигляду

$$W(\tau) = W_p + (W_n - W_p) \exp(-a\tau^b), \quad (4)$$

Рівняння (4) можна перетворити

$$\frac{W - W_p}{W_n - W_p} = \exp(-a\tau^b), \quad (5)$$

За сушінні рослинної сировини на різних температурних режимах кожній S-подібній криві відповідають свої варіаційні коефіцієнти.



Середньоквадратичне відхилення розрахункових і експериментальних даних не перевищує 1,8%. Отримані експериментальні результати слугували для отримання узагальнених кривих для досліджуваної рослинної сировини, їх можна застосовувати при будь яких температурних режимах сушіння.

$$\frac{W - W_p}{W_{\Pi} - W_p} = \exp(-K_{pc}(-N\tau)^b), \quad (6)$$

де K_{pc} – коефіцієнт сушіння, N – швидкість сушіння в перший період, $N\tau$ – приведена швидкість сушіння.

Для кожної узагальненої кривої були знайдені відповідні коефіцієнти K_{pc} і b , що наведені у таблиці 1.

Таблиця 1.

Коефіцієнти для узагальнених кривих сушіння

Висушуваний матеріал	$W_{\Pi} - W_p$	Коефіцієнти	
		K_{pc}	b
М'ята	80,8	0,0104	1,0970

Таким чином була отримана математична залежність, що дозволяє описати криві сушіння рослинної сировини і може бути використана для обробки кривих сушіння за умов постійної температури.

За описаних вище умов висушування провели дослідження зміни вмісту мікроелементів та біологічно-активних речовин. У таблиці 2 наведено зміну макроелементного складу (вміст іонів Ca, K, Na, Mg) м'яти у свіжому та висушеному стані.

Таблиця 2

Зміна вмісту основних макроелементів у свіжій та висушеній м'яті сорту "Яблучна"

Показник, мг/100 г	М'ята сорту "Яблучна"			
	Свіжа	Висушена за $t=30^{\circ}\text{C}$	Висушена за $t=50^{\circ}\text{C}$	Висушена за $t=70^{\circ}\text{C}$
Вміст Ca^{++}	742	740	736	733
Вміст K^{+}	218	216	213	210
Вміст Na^{+}	51	48	45	43
Вміст Mg^{++}	382	381	379	377

Аналіз результатів досліджень показав, що найкраще мікроелементний склад у м'яті зберігається за температури висушування 30°C . Надалі досліджували зміну вмісту вітаміну С (в перерахунку на аскорбінову кислоту), вмісту флаваноїдів та антиоксидантну активність за різних температур висушування. Результати досліджень представлено у таблиці 3.

За використання температури висушування 30°C спостерігаємо найменше зниження вмісту вітаміну С у порівнянні із свіжою сировиною. За таких же умов спостерігаємо і найбільший вміст флаваноїдів у висушеній сировині в порівнянні із свіжою.



Таблиця 3

Зміна вмісту біологічно-активних речовин м'яти у свіжому та висушеному стані

Спосіб оброблення сировини	Вміст вітаміну С, мг/100 г	Вміст флаванолів (по рутину), %	Антиоксидантна активність (змір проводився у водній витяжці), мВ/100г
Свіжа	29	0,76	68
Висушена за $t=30^{\circ}\text{C}$	21	0,54	52
Висушена за $t=50^{\circ}\text{C}$	14	0,48	43
Висушена за $t=70^{\circ}\text{C}$	11	0,45	41

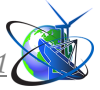
Висновки

За результатами дослідження впливу процесу висушування було встановлено, що за температури висушування 30°C відбувається менше руйнування цінних біологічних елементів у м'яті в порівнянні з контролем. Досліджено кінетику сушіння рослинної сировини на експериментальній сушильній установці та встановлено коефіцієнти для узагальнених кривих сушіння, які можуть бути використаними для математичної обробки кривих сушіння за умов постійної температури.

Література:

1. Андрианов К. В., Федченкова Ю. А., Хворост О. П. Исследование фенольных соединений листьев мяты перечной // Азербайджанский фармацевт. и фармакотерапевтический журнал. - 2014. - №1.с.31-33
2. Бугаенко Л. А. Генетические закономерности биосинтеза терпеноидов у мяты // Бизнес-Информ.- Симферополь, 2014. 152 с.
3. Гарна С. В., Ветров П. П., Георгіянц В. А. Взаємозв'язок основних технологічних параметрів рослинної сировини //Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики. - 2012. -№ 1 (8). С. 54-57.
4. Зинченко, Л. А., Андреева О. А. Исследование биологически активных соединений шрота листьев мяты / Пятигор. гос. фармац. акад. Пятигорск, 2006., 20 с.
5. Марченко В. І., Степанова Н. Ю. Значення вітаміну С і його збереженість при переробці та зберіганні // Наукове забезпечення розвитку АПК в умовах реформування. Збірник наукових праць. - СПб .: Изд-во політехн. Ун-ту, 2013. - частина 2. - С. 513-516.

Abstract. Changes in the content of biologically active substances of mint, namely the content of vitamin C, the content of flavanoids and antioxidant activity at different drying temperatures, are investigated in the article. The kinetics of the drying process is investigated. Drying curves at different drying temperatures were constructed. The mathematical model of the mint drying process is described.



Key words: vegetable raw materials, mint, drying, vitamins, biologically active substances.

Дослідження виконані згідно №42.00.03.02.Ф «Теоретичні основи створення харчової продукції спеціального призначення на основі рослинної сировини» (2016-2020 рр.), в рамках ПНД №42 «Біотрансформація сільськогосподарської сировини в продукти харчового і технічного призначення в процесі формування національної продовольчої системи» Національної академії аграрних наук України.

Статья отправлена: 10.03.2020 г.

© Шейко Т. В.



УДК 543.9:634.11(477)

CONTENT OF VALUABLE NUTRIENTS IN FRUITS OF LATE APPLE**ВМІСТ ЦІННИХ НУТРИЄНТІВ У ПЛОДАХ ПІЗНІХ ЯБЛУК****Voitsekhivskiy V. / Войцехівський В.***Ph.D., associate professor / к. с.-г. н., доц.***Biruk I. / Бірук І.***student / студент**National university of life and environmental sciences of Ukraine, Kiev**Національний університет біоресурсів і природокористування***Konakh V. / Конах В.***PhD., assistant professor / к. мед. н.**Bogomolets National Medical University, Kiev**Національний медичний університет ім. О.О.Богомольця***Voitsekhivska O. / Войцехівська О.***Ph.D., associate professor / к. б. н., доц.**Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kiev**Київський національний університет ім. Т. Шевченка***Vaskivska S. / Васківська С.***head of department / завідувач відділу**Ukrainian Institute for Plant Varieties Examination, Kiev*

Анотація. Проведено комплексний біохімічний і дегустаційний аналіз плодів пізніх яблук з різних торговельних мереж. У результаті комплексної оцінки виявлено, що найбільш збалансованими за досліджуваними показниками, є плоди сортів Чемпіон і Джонаголд.

Ключові слова: плоди яблуні, сорт, біохімічний склад, якість.

Яблуня є найважливішою плодовою культурою в сучасному садівництві України, її частка серед інших плодових культур за площею, становить понад 44 %. Слід зазначити, що за останні 20 років площі насаджень зменшились майже у 3,5 рази, але продуктивність підвищилась. Ця культура користується попитом у населення завдяки своїм смаковим, харчовим, дієтичним, лікувальним, кулінарним якостям та помірній ціні. Плоди яблуні є відмінною сировиною для переробної промисловості, завдяки високій технологічності. Україна посідає 13-тє місце з виробництва яблук і має потужний потенціал нарощування виробництва. Річне споживання фруктів за останні 20 років підвищилось на 60%, однак це складає 58% від річної норми [2].

Харчування є найважливішою фізіологічної потребою людини. Воно необхідне для побудови і постійного оновлення клітин і тканин. Для підтримки здоров'я і працездатності людина повинна постійно споживати різні харчові продукти. Фрукти відносяться до такої групи і є найважливішим джерелом вітамінів і амінокислот, макро- і мікроелементів, вуглеводів, натуральних харчових волокон, поліфенолів, фітонцидів тощо. Американська асоціація діабету (ADA) віднесла яблука до 8-ки найкорисніших фруктів. Невелике яблуко масою 150-200 г має досить низьку калорійність, вміщує всього 77 ккал і 21 г вуглеводів (середньостатистична норма вуглеводів 150-200 г/добу), глікемічний індекс (30-45) і тому є рекомендованим продуктом для людей, які контролюють споживання вуглеводів [1, 5, 6].



Окрім того, у плодах яблуні забарвлених сортів накопичуються каротиноїди та антоціани – пігменти рослин, які в організмі людини проявляють високі антиоксидантні, антиканцерогенні, кардіопротекторні, ангіопротекторні, радіопротекторні, а також імуномодулюючі властивості. У плодах також містяться й інші цінні нутрієнти: С, Е, К, В₁, В₂, В₃, В₆, РР, біотин (таблиця 1) [3].

Харчові волокна – необхідний компонент раціону людини. За стійкістю до бактеріальної ферментації вони поділяються на ті, які підлягають повній, частковій ферментації та не ферментуються взагалі. До першої групи належать пектин, камеді, слизи, до другої – целюлоза і геміцелюлоза, до третьої – лігнін. Фрукти є основним джерелом першої групи харчових волокон. Ці сполуки нормалізують функціонування кишківника, сприяючи розвитку корисної мікрофлори та сповільненню засвоєння швидких вуглеводів. За даними різних авторів дефіцит цих сполук у раціоні сучасної молоді становить – 65-70 % [6].

Таблиця 1

Біохімічний склад свіжих яблук

Вміст цінних нутрієнтів у 100 г сирової речовини			
	вітаміни	макроелементи	мікроелементи
Вода – 84-88 г	Вітамін А - 9,0 мг	Залізо - 0,7 мг	Алюміній - 320 мкг
Білок - 1,0-1,2 г	Вітамін В ₁ - 0,05 мг	Калій - 250мг	Бор - 205 мкг
Амінокислоти	Вітамін В ₂ - 0,06 мг	Кальцій - 29 мг	Ванадій - 92 мкг
незамінні – 310 мг	Вітамін В ₃ - 0,3 мг	Магній - 38 мг	Йод - 7 мкг
Амінокислоти	Вітамін В ₆ - 0,1 мг	Натрій - 21 мг	Марганець - 190 мкг
замінні - 600 мг	Вітамін В ₉ - 9,0 мкг	Сірка - 4 мг	Мідь - 70 мкг
Моноцукри - 3,0-5,4 г	Вітамін С - 5,0 мг	Фосфор - 52 мг	Молібден - 20 мкг
Сахароза – 1,9-2,5 г	Вітамін Е - 0,7 мг		Нікель - 6 мкг
Органічні кислоти -	Вітамін Н - 0,06 мкг		Фтор - 40 мкг
0,18-0,25 г	Вітамін РР - 1,0 мг		Хром - 3 мкг
Клітковина – 2,4 г			Цинк - 360 мкг
Калорійність - 30 ккал			

Свіжі яблука та продукти перероблення є важливим компонентом раціону профілактичного і дієтичного харчування за різних захворювань, зокрема гіпертонії, цукровому діабеті, гастриті, розладах травлення тощо [5, 6].

Метою роботи було оцінити якість, біохімічний склад та дієтичну цінність плодів яблуні, представлених в торгівельних мережах міста Києва.

Методи досліджень. Дослідження проводили в НУБіП України на кафедрі технології зберігання, переробки та стандартизації продукції рослинництва ім. Б.В. Лесика і УІЕС України. Плоди для випробування відбирали в торгівельних мережах Ашан, Сільпо, Фора і АТБ. Продукцію оцінювали відповідно ДСТУ 8133:2015. Визначення досліджуваних показників проводили за загальноприйнятими методиками [2, 3].

Результати досліджень. Проаналізовано біохімічний склад плодів яблуні різних сортів вітчизняного походження, наявних у супермаркетах у осінній період (жовтень-листопад) (табл. 2). Вміст сухих розчинних речовин (СРР) та цукрів незначно коливався за досліджуваними сортами, в середньому становив – 12,8 і 11,0% відповідно. За вмістом титрованих кислот досліджувані сорти



можна розділити на 2 групи: низькокислотні – Голден Делішес, Джонаголд і Чемпіон (0,4%), решта – з підвищеною кислотністю. Плоди яблуні досліджуваних сортів відрізнялися низьким вмістом аскорбінової кислоти (АК) в середньому – 4,8 мг/100 г сирого продукту. Найвищим показником відзначились плоди сорту Чемпіон (9,8 мг/100 г).

Таблиця 2

Характеристика важливих споживчих компонентів плодів яблуні

Сорт	Вміст							Цукрово-кислотний індекс	Дегустаційна оцінка, бал
	СРР*, %	сума цукрів, %	титровані кислоти, %	АК**, мг/100г	пектинові речовини, %	фенольні речовини, мг/100г	нітрати, мг/кг		
Айдаред (к)	12,3	11,5	0,7	5,6	1,1	128,3	36,3	16,7	4,2
Джонатан (к)	13,3	10,5	0,7	3,9	0,9	222,4	28,4	14,9	4,4
Годен Делішес	13,9	10,8	0,4	4,2	1,0	166,5	39,7	27,0	4,5
Джонаголд	14,9	11,2	0,4	3,8	0,9	205,2	42,3	25,5	4,6
Ренет Симиренка	13,6	10,6	0,87	5,5	1,2	178,4	35,1	15,9	4,5
Чемпіон	14,8	11,7	0,4	9,8	0,9	176,0	22,3	29,2	4,7

*СРР - сухі розчинні речовини; **АК – аскорбінова кислота.

Пектинові речовини в організмі людини проявляють детоксикуючі і пробіотичні властивості. Середній їх вміст складає 1,0 %, в той же час вищим вмістом відзначився сорт Ренет Симиренка. Не менш цінними нутрієнтами плодів яблуні є фенольні сполуки. В організмі людини і тварин ароматичні кільця не синтезуються, а надходять разом з рослинною їжею та включаються до складу багатьох життєво необхідних фенольних сполук – адреналіну, тироксину, серотоніну та ін. Регулярне надходження рослинних фенолів в організм людини сприяє зміцненню стінок капілярів, нормалізації кров'яного тиску, підвищенню імунітету. У досліджуваних сортах сумарний вміст фенольних сполук складає в середньому 175,4 мг/100 г. Плоди сортів Джонатан і Джонаголд відзначилися найвищою концентрацією фенольних сполук – 222,4 і 205,2 мг/100 г відповідно. Вміст нітратів у плодах усіх сортів не перевищував значень ГДК (60 мг/кг), тому плоди яблуні є безпечними для споживання. Органолептична оцінка відібраних зразків виявила, що сорти Годен Делішес, Джонаголд і Чемпіон мають більш збалансований смак (вподобання студентів). Решта зразків відзначалась кислувато-солодким смаком. Користуючись методом ранжування біохімічних і споживчих показників за величиною і вагомістю найбільше балів набрали сорти Чемпіон і Джонаголд.

Висновки. Комплексна оцінка сортименту популярних сортів яблуні виявила, що найбільш перспективними за вмістом цінних нутрієнтів є сорти Чемпіон і Джонаголд. Плоди яблуні містять в середньому до 10% легкозасвоюваних цукрів, 0,6% органічних кислот, 4,8 мг/100г аскорбінової кислоти, 175,4 мг/100 г – фенольних сполук і 1,0 % – пектинових речовин і мають високі смакові властивості. Отримані результати доцільно враховувати при складанні повноцінних раціонів харчування в осінній період.



Література:

1. Войцехівська О.В., Ситар О.В., Таран Н.Ю. Фенольні сполуки: різноманітність, біологічна активність, перспективи застосування // Вісник ХНАУ. Сер. Біологія. – вип. 1(34). – 2015. – С. 104-119.
2. Подпратов Г.І., Скалецька Л.Ф., Войцехівський В.І. Товарознавство продукції рослинництва. – К.: Арістей. – 2005. – 256 с.
3. Скалецька Л.Ф., Подпратов Г.І., Завадська О.В. Методи наукових досліджень зі зберігання та переробки продукції рослинництва: навч. посіб. – К.: ЦП Компрінт, 2014. – 416 с.
4. Франс Дж., Торнли Дж.Х.М. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
5. Gunderson E.P. Gestational diabetes and nutritional recommendations. (2004). Current diabetes reports. №4(5), P.377-386. doi:10.1007/s11892-004-0041-5.
6. Thebaudin J.Y., Lefebvre A.C., Harrington M., Bourgeois C.M. Dietary fibres: Nutritional and technological interest // Trends in food science and technology. 1997. №8 (2), P. 41-48. doi: 10.1016/S0924-2244(97)01007-8.

Abstract. *The comprehensive biochemical and tasting analysis of late apple fruits from different retail chains was conducted. As a result of a comprehensive evaluation, it was found that the most balanced for studied indicators are fruits of the varieties - Champion and Jonagold.*

Keywords: *fruits, apples, chemical content, quality.*

© Войцехівський В., Бірук І., Конах В., Войцехівська О., Васьківська С.



УДК 004.93

**AUTOMATION OF IMAGE ANALYSIS PROCEDURES
IN MICROSCOPIC RESEARCHES IN BIOMEDICINE
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ
МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В БИМЕДИЦИНЕ**

Solomin A.V. / Соломин А.В.*PhD, as.prof. / к.ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-5226-8813

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Prosp.Peremohy, 37, 03056**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт
имени Игоря Сикорского», Киев, пр-т Победы, 37, 03056*

Annotation. *The paper substantiates the feasibility of using the NI LabVIEW software environment in constructing pattern recognition systems for special tasks of automating image analysis procedures in biomedical research.*

Using concrete examples, the basic principles for solving this type of problem, the flexibility and universality of the resulting systems are demonstrated.

Keywords: *pattern recognition, automation, NI LabVIEW, IMAQ Vision.*

Introduction.

In biomedical research, the relevant task is to automate analysis procedures of images obtained in the microscopes field of view. This is due to the extremely high complexity of such manual work, a significant risk of the influence of subjective factors, and at the same time, the critical importance of the results in diagnostics and research.

Most often, such analysis in biomedicine comes down to calculating the relative number of microobjects characterized by a specific value of some parameter, and this is one of the varieties of the pattern recognition problem

There are automated workstations for this type of work, however, firstly, they are very expensive, and secondly, with a huge variety of capabilities, their functions are still specialized.

The aim of this paper is to illustrate the advantages and prospects of use the NI LabVIEW workbench for the task of creating fairly universal software systems, which after receiving the images from the input device and customization of selection parameters performs so selecting and counting objects in the field of view of the microscope in automatic mode. The versatility is achieved thanks to the ease use of this special programming techniques that provides the possibility of flexible adaptation by personnel processing algorithms for specific conditions and objectives of research.

Main text. NI LabVIEW was chosen as the software development environment, because it is currently an informal standard in the biomedical instrument industry and is easily integrated into most modern software and hardware systems [1]. Especially useful for these tasks is use of the IMAQ Vision extension [2], which contains rich libraries of image processing routines for various purposes.

The NI LabVIEW (National Instrument Laboratory Virtual Instrument



Engineering Workbench) is very convenient for applications, that are created and used not by classical programmers, but by specialists in the engineering industry, in particular biomedical engineers. Instead of text programming languages with complex syntax rules, the graphic language G is used here, which has a more familiar for engineers form of block diagrams.

Additional advantages of the environment are presence of a large number of built-in functions and routines, a wealth of developed and convenient elements for building interfaces, and the ability to interact with other environments and external devices.

In the context of solving this problem, advantage of the NI LabVIEW environment over other tools is its almost open source code, which makes it easy to modify or adapt software tools for different conditions and requirements.

An explanation of the basic principles of the construction and use of such systems will show on several examples of solving specific problems.

The nature of first example consists in creating a program (virtual instrument in terms NI LabVIEW), which extracts from image separate self-connected areas – the objects (in this example, the individual white blood cells) and counts their.

The block diagram of the virtual device is shown at fig.1.

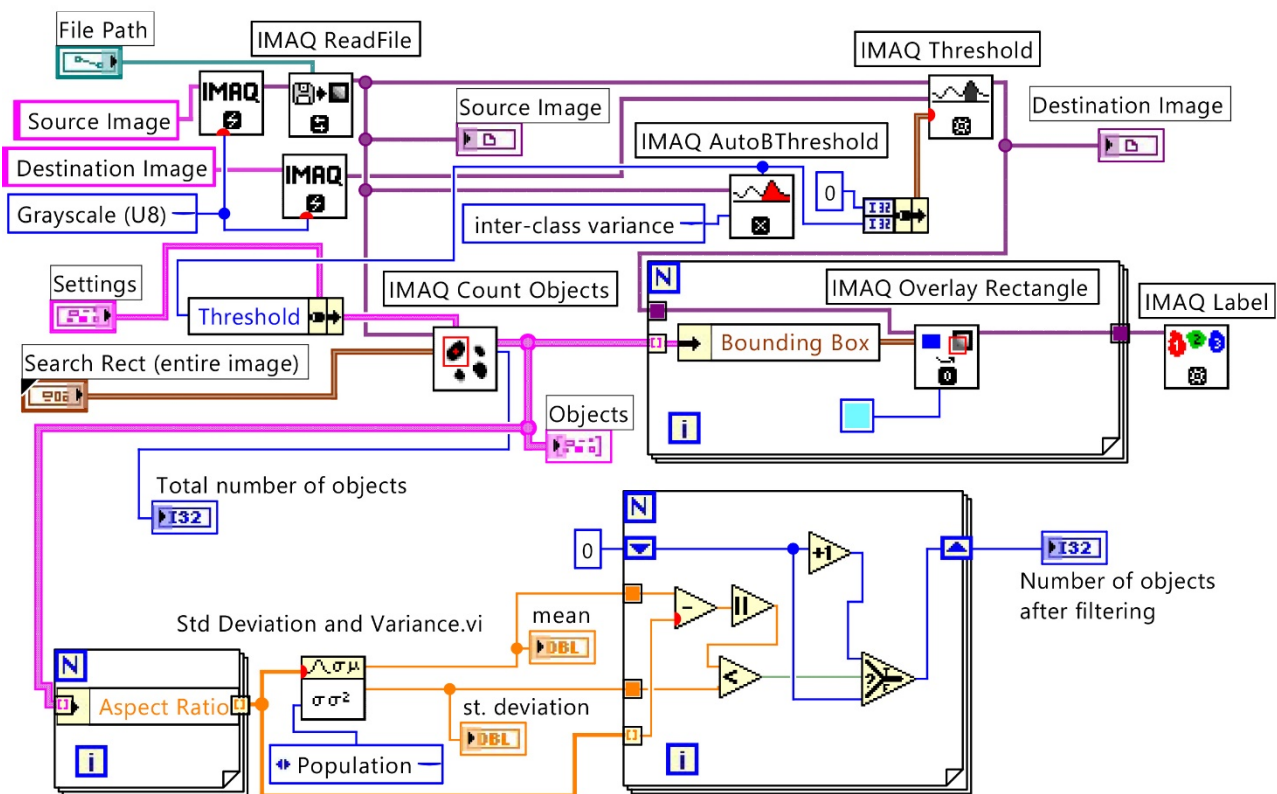


Fig.1. Block diagram of a virtual device for selecting and counting leukocytes in the image

Here, the main module is IMAQ Count Objects, which allows not only to find the number of objects (connected areas) in the image, but also to carry out their initial selection according to several simple parameters. Selection parameters are set in the Settings cluster. In our case, for primary selection, only the Threshold parameter is



used – the brightness threshold, which allows to filter out weakly contrasting objects. A threshold value is automatically generated in the IMAQ AutoBThreshold module based on a statistical analysis of the image pixels' histogram.

The front panel of considered virtual instrument with results of operation is shown in Fig.2. Here, the original image in the microscope's field of view is illustrated on the left, and the processing results – on the right.

However, as can be seen in Fig.2, the value shown on the indicator «Total number of objects» is 9, i.e. does not correspond to the actual number of leukocytes in the field of view (7). The reason for this error is perception by the system of some “noise” objects (top left and bottom left) as leukocytes.

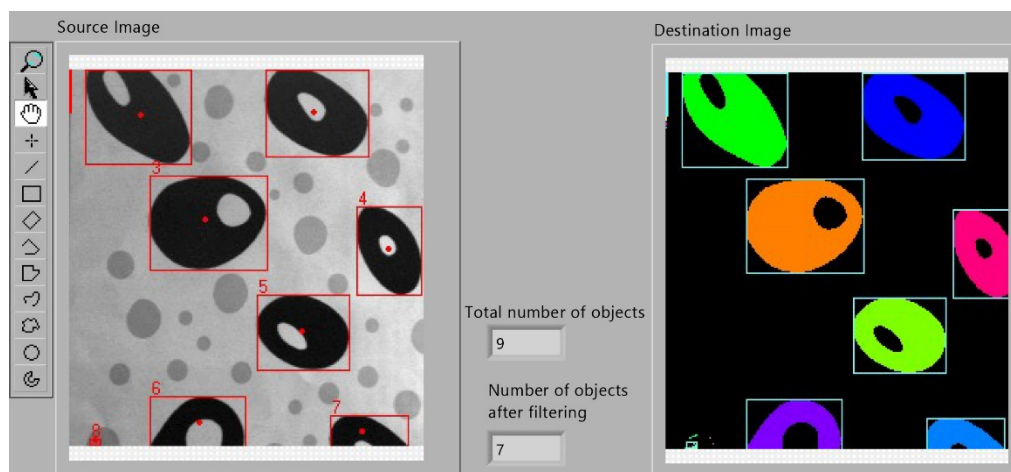


Fig.2. The front panel of the virtual instrument for selecting and counting of leukocytes in the image

To eliminate such errors, it is proposed to use additional filters. In the block diagram on fig.1 the following algorithm is used for such filtering (lower part of the block diagram). The ratio of smaller and larger sizes (Aspect Ratio) of an object was chosen as the filtering parameter. In the array of pre-selected (before filtering) objects, the mean value of this parameter and the standard deviation are calculated. Further among pre-selected objects only those are involved in the final calculation, in which this parameter differs from the mean value no more than the standard deviation value.

As a result of filtering, correct number of leukocytes (7) on the indicator «Number of objects after filtering» is obtained.

The second example is somewhat similar to the first, but modules and filters used are different.

Now suppose you need to count number of objects in the field of view, which are closed areas of uniform intensity pixels, containing a hole in the middle (for example, white blood cells).

The block diagram of such a virtual instrument is shown in fig.3.

Here, the image is first binarized by the IMAQ AutoBThreshold and IMAQ Threshold modules. Then, the IMAQ Particle Analysis module detects closed areas (particles) and analyzes their parameters, there are available quite a few options, for example, coordinates of mass centers, area, etc. In this case, as an example, the



parameter Number of Holes is used. In parallel, the IMAQ Particle Filter 2 module implements filtering of objects (particles) by the Number of Holes parameter and leaves only objects with one hole inside.

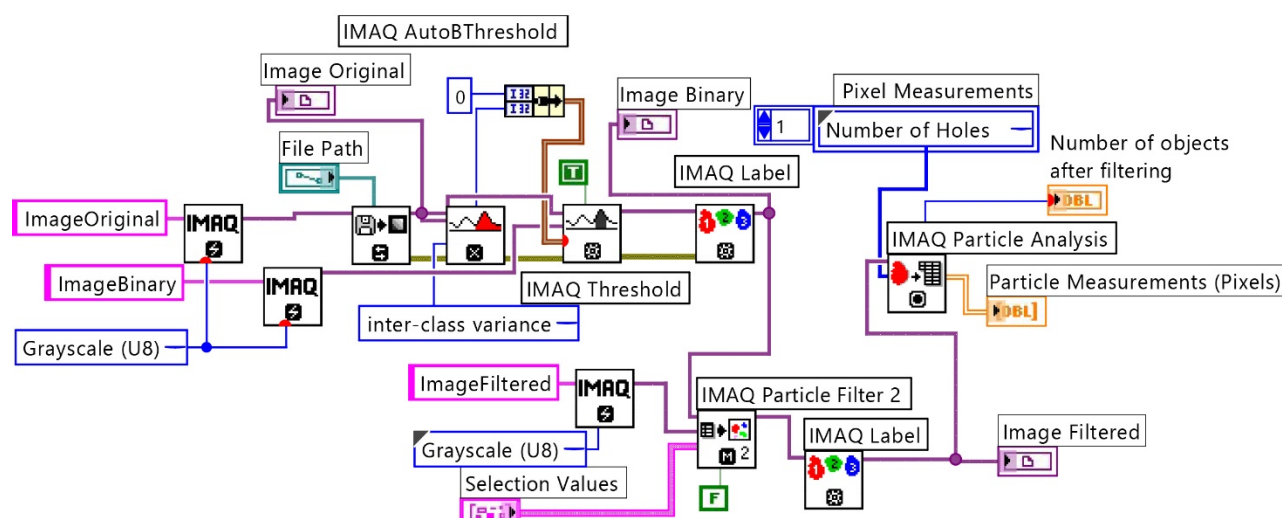


Fig.3. Block diagram of the virtual instrument for selecting and counting objects with holes in the image

Fig.4 shows the results displayed on the front panel of this virtual instrument.

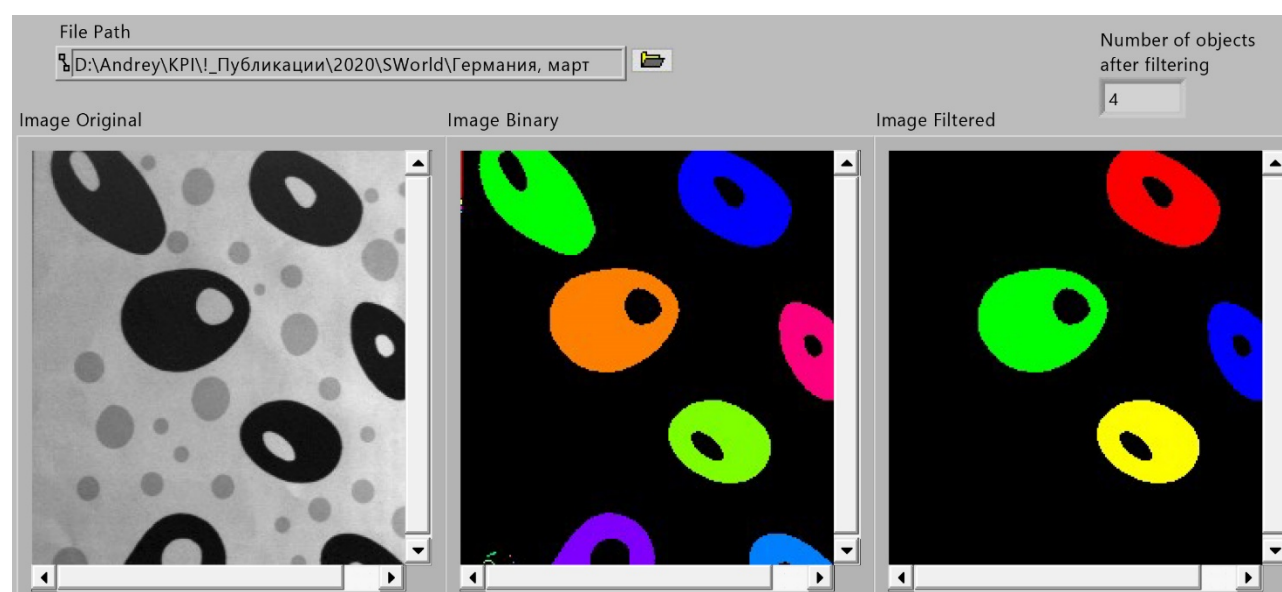


Fig.4. The virtual instrument front panel for selecting and counting objects with holes in the image

Here, on the first screen, the initial image in grayscale mode is shown, on the second screen, binary images of particles selected by the brightness threshold value are shown, and on the third screen, result of filtering by the parameter of internal holes number is shown. Above the third screen there is an indicator of number of counted filtered particles «Number of objects after filtering». As can be seen from the results, only objects (particles) were taken into account, in which there is strictly one hole, moreover, completely located in the particle's body, i.e. surrounded by pixels of



the particle's body.

As a filtering parameter, similarly to the IMAQ Particle Analysis module, the characteristics of objects from a rather large proposed list could be used.

Conclusion and conclusions.

As follows from the examples considered, the NI LabVIEW programming environment offers a set of diverse, easy-to-use tools for image processing, which, with appropriate refinement and adaptation, available to the ordinary engineer, can replace expensive workplaces of researchers and laboratory assistants. This ensures the versatility of such tools, based on open source code and the simplicity of creating and editing software systems.

References:

1. Kiseleva O.G., Solomin A.V. Programuvannja v NI LabVIEW. Technologija rozrobki virtualnyh pryladiv [Programming in NI LabVIEW. Technology of virtual devices development] – K. : HTYU «КПИ», 2014. – 276 с. (in Ukrainian)
2. Vizilter J.V., Geltov S.J., Knjaz V.A., Hodarev A.N., Morgin A.V. Obrabotka i analiz cifrovych izobrazheniy s primeramy na LabVIEW IMAQ Vision [Processing and analysis of digital images with examples on LabVIEW IMAQ Vision] – M.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с. (in Russian)

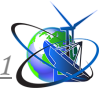
Аннотация. В работе обосновывается целесообразность применения программной среды NI LabVIEW при построении систем распознавания образов для специальных задач автоматизации процедур анализа изображений в биомедицинских исследованиях.

На конкретных примерах продемонстрированы основные принципы решения такого типа задач, гибкость и универсальность получаемых в результате систем.

Ключевые слова: распознавание образов, автоматизация, NI LabVIEW, IMAQ Vision.

Article sent: 02/03/2020

© Solomin A.V.



УДК 712.01

**MODERN VIEW ON GARDEN-PARK ARCHITECTURE
СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА САДОВО-ПАРКОВУ АРХІТЕКТУРУ****Сидорова Н.В. / Sydorova N.V.,***c.t.s., as.prof / к.т.н., доц.***Доценко Ю.В. / Dotsenko J.V.***c.t.s. / к.т.н.**Одеська державна академія будівництва та архітектури,**Одеса, Дідрихсона 9, 65029**Odessa state academy of civil engineering and architecture,**Odessa, Didrikhsona str., 9, 65029*

Анотація. Будівництво нових районів та благоустрій їх територій для створення комфортного та затишного життя відображають сучасний рівень будівельних технологій. Протягом століть ландшафтне садівництво використовувало чавун, шпатель, метал, бетонні вироби для прикраси та огорожі садів, парків та прибудинкових територій. Ці деталі не лише створюють відчуття комфортного відпочинку, але й відіграють велику роль у ландшафті та естетичному збагаченні території загалом. У будівельній галузі продукція, у вигляді, так званих, малих архітектурних форм, набуває все більшого значення. Вони виробляються відповідно до ландшафтно-архітектурних та естетичних вимог, які пред'являються до об'єкту ландшафтного дизайну, з міцних матеріалів, що характеризуються високим ступенем стійкості до факторів навколишнього середовища. Силікатний бетон, безсумнівно, є одним із таких матеріалів, адже продукція на його основі є екологічно чистою та доступною сировиною.

Ключові слова: садово-паркова архітектура, ландшафтний дизайн, архітектурні форми, силікатний бетон, властивості силікатної суміші, сучасний погляд.

Вступ. На початку третього десятиліття нашого століття садово-паркова архітектура займає свою нішу між архітектурою і будівництвом. Архітектори займаються наповнюваністю простору, зробивши основний акцент на види спереду і зліва, ландшафтні дизайнери враховують всебічний погляд спостерігача, роблячи акцент на перспективу, а в будівельному виробництві все більш значущими стають вироби, так звані малі архітектурні форми, які повинні бути виконані відповідно до ландшафтно-архітектурних і естетичних вимог, що пред'являються до об'єкту озеленення, з міцних матеріалів, що відрізняються високим ступенем стійкості до впливу факторів зовнішнього середовища.

Основний текст. У садово-парковій архітектурі вже сторіччя використовують вироби з чавуну, гіпсу, металу, бетону для прикрас і огорожі садів, скверів, бульварів або парків. Ці деталі не тільки створюють відчуття комфортного відпочинку, а й грають велику роль в ландшафтно-естетичному збагаченні території в цілому.

Під поняттям «сучасний погляд» на садово-паркове мистецтво варто розуміти індивідуальне сприйняття окремого спостерігача. Кожне покоління мало свій погляд на те, як повинен виглядати парк, сад або просто упорядкована територія біля житлового будинку, виробляло свою мову форм, свої символи і бачення.



Якщо повернутися на 30-40 років тому, то для спостерігача того часу буденна центральна алея парку з діючим фонтаном або пам'ятником, біля якого розбито квіткову клумбу і навколо стоять дерев'яні лавки з урнами – це естетичний, доглянутий і, якщо хочете, красивий краєвид.



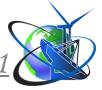
Рис.1. Парк епохи Радянського Союзу

На початку ХХІ століття з'являються нові тенденції в ландшафтному дизайні територій - оформлення поверхні землі за допомогою щебінки і битого скла, сталевий скрап, грубі уламки гірських порід, смуги рослин і доріжок, що перетинаються. Зеленим рослинам надають форми кулі, кубу, піраміди, з'являються формовані дерева, змішані посадки з чагарників прерій, які не потребують особливого догляду. На території парків і садів з'являються садові скульптури для дітей і дорослих, виконані з різних матеріалів, починаючи від дерева і закінчуючи дротом і камінням (рис.2).



Рис.2. Дитячі садові скульптури казкових героїв

Сучасний темп будівництва нових районів і благоустрій їх територій для забезпечення сучасного та комфортного життя відображають сучасний підхід і рівень технології будівельного виробництва. У будівельному виробництві зараз все більш значущими стають вироби, що відрізняються високим ступенем стійкості до впливу факторів зовнішнього середовища. Одним з таких



матеріалів без сумніву є силікатний бетон, адже вироби на його основі відрізняються екологічністю і доступністю сировинних матеріалів.

В роботах [1,2,3] показано, що регулюючи властивості силікатної суміші з використанням запропонованого авторами комплексу різних видів активацій, забезпечено отримання ефективних і умовно-ефективних виробів тепловологісного твердіння з поліпшеними фізико-механічними і будівельно-експлуатаційними властивостями (враховуючи щільність, міцність, морозостійкість, усадку з урахуванням тріщино-, карбонізаційної стійкості і значень водневого показника середовища) за енергозберігаючою литтвовою технологією. Також авторами рекомендовано оптимальні склади, які забезпечують отримання композитів з поліпшеними властивостями: **ефективні повнотілі блоки:** $R_{ct}-B10$, $\rho=1350-1400 \text{ кг/м}^3$, $F50$, $\lambda=0.33 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $k_p=1$; додаткові критерії якості: $k_{Ic}=1,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{-0.5}$, $W=12\%$, $\epsilon=0,3 \text{ мм/м}$, $pH\approx 12$. **Пустотілі блоки:** $R_{ct}-B7,5$, $\rho=1250 \text{ кг/м}^3$, $F50$, $\lambda=0.3 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $k_p=1$; додаткові критерії: $k_{Ic}=1,3 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{-0.5}$, $W=12\%$, $\epsilon=0,2 \text{ мм/м}$, $pH\approx 12$. **Умовно-ефективні повнотілі блоки:** $R_{ct}-B12.5-15$, $\rho=1450 \text{ кг/м}^3$, $F\geq 35$, $\lambda=0.38 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $k_p=0.95$, додаткові критерії: $k_{Ic}=1,2 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{-0.5}$, $W=13\%$, $\epsilon=0,3 \text{ мм/м}$, $pH\approx 12$ [4,5]. Саме композити з $k_p=1$ можуть бути рекомендовані для елементів декору садово-паркової архітектури та дизайну приміщень.

Одним з варіантів використання таких композитів може бути виготовлення виробів для використання у якості малих архітектурних форм – декоративних споруд, які не тільки прикрашають, але і виконують багато корисних функцій. До них відносяться садові скульптури, лавки, фонтанчики, ставки, вазони та багато іншого. Все це органічно вписується в загальну концепцію благоустрою територій, будучи при цьому акцентними точками, в залежності від планувального рішення.

Останнім часом в містах набули поширення, наприклад, спеціалізовані квіткові модулі або квіткарки, які відмінно вписуються на територіях з високим рівнем благоустрою для відпочинку городян. Це спеціальні пристрої абсолютно різних форм, з різних матеріалів, призначені для висаджування і зростання, як квітучих рослин, так і вічнозелених насаджень (рис.3). До таких квіткарок пред'являються особливі вимоги: довговічність, вологостійкість і морозостійкість, які легко здійснимі в виробках з силікатних композитів тепловологісного твердіння з поліпшеними фізико-механічними і будівельно-експлуатаційними властивостями.

З огляду на те, що в галузі ландшафтного дизайну прийнято використовувати зручні і оригінальні елементи, то до таких можна віднести і бетонні лавки, виконані з вищевказаного матеріалу, які відрізняються масою переваг. Це і декоративність, і міцність, і екологічність, і вогнестійкість, і несприйнятливості до атмосферних явищ, і вологостійкість, і антивандальність, і універсальність використання. На рис. 4 наведено приклад застосування таких малих архітектурних форм в поєднанні з квіткаркою, що створюють комфортну зону відпочинку при благоустрої території, які можливо робити з силікатного бетону.



Рис. 3. Квіткар

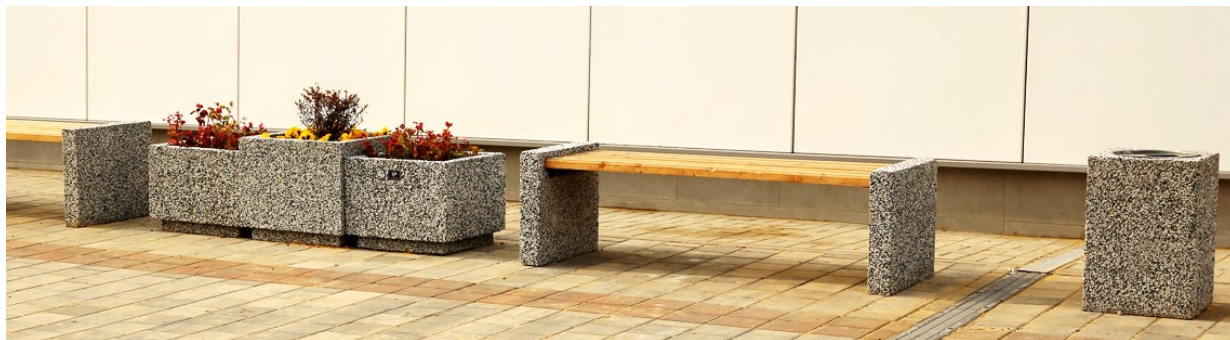
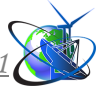


Рис.4. Мала архітектурна форма в поєднанні з квіткарем

Висновки. Сьогодні ми не уявляємо собі парку або прибудинкової території нового житлового комплексу без касадних фонтанів, лавок, квітників, виконаних, як правило, в одному стилі і з одного матеріалу (рис.5).



Рис.5. Сучасна садово-паркова архітектура



Крім прямої функції, вони ще й прикрашають, розмежовують, зонують територію і беруть участь в створенні, оформленні та благоустрою міського простору, підсумковою метою якого є ефективно і ефектно поєднання малих архітектурних форм та ландшафтного дизайну.

Література:

1. Комплексна активація поризованих силікатних композитів тепловологісного твердіння РОЗДІЛ II.6. Доценко Ю.В. Сучасні будівельні матеріали та технології: монографія / О.С. Шинкевич та ін.: за ред. О.О. Шишкіна – Кривий Ріг: Залозний В.В., 2017. - С. 219-230.
2. Перспективные достижения современных ученых: экономика, менеджмент, география и геология, архитектура и строительство, химия: монография / [авт. кол.: Орлов М.М., Львович И.Я., Преображенский А.П. и др.] / гл.12 Доценко Ю.В., Сидорова Н.В. Энергоеффективные комплексно-активированные композиты на силикатной матрице. - Одеса: Куприенко СВ, 2017. – 189 с.: ил., табл.
3. Патент на корисну модель №124068 «Модифікована сировинна суміш для одержання силікатних композитів» від 26.03.2018, винахідники / Шинкевич О.С., Луцкін Є.С., Сидорова Н.В., Койчев О.О., Доценко Ю.В., Бондаренко Г.Г., Закаблук С.С.
4. Шинкевич Е.С. Количественная оценка влияния на активность комплексно-активированных дисперсных систем отдельных видов активации / Шинкевич Е.С., Доценко Ю.В., Сидорова Н.В. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Вип. 60. – Одеса, "Оптимум" 2015. – С. 96-103.
5. Шинкевич О.С. Вплив комплексної активації на властивості дрібнозернистих високорухливих сумішей і силікатних композитів на їх основі / Шинкевич О.С., Доценко Ю.В., Сидорова Н.В., Закаблук С.С. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – Вип. 57. – Київ, 2016. – С. 192-197.

Abstract. The construction of new areas and the improvement of their territories to form a comfortable and cozy life reflect the modern level of construction technology.

For centuries, landscape gardening has been using cast iron, plaster, metal, concrete products to decorate and enclose a garden, square, boulevard or park. These details don't only create a feeling of comfortable relaxation, but also they play a large role in the landscape and aesthetic enrichment of the territory as a whole.

In the construction industry, products, the so-called small architectural forms, are becoming increasingly important. They must be performed in accordance with the landscape-architectural and aesthetic requirements that are presented to the landscaping object, from durable materials that are characterized by a high degree of resistance to environmental factors. Silicate concrete is undoubtedly one of such materials, because products based on it are environmentally friendly and affordable raw materials.

Keywords: garden-park architecture, landscaping, architectural forms, silicate concrete, properties of silicate mixture, modern look.

Стаття відправлена: 16.03.2020 г.

© Сидорова Н.В.



УДК 616-78

**DEVELOPMENT OF THE COMPLEX FOR CARDIOPULMONARY
AUTOMATIC RESULTS MECHANICAL CONDUCTING.****РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ СЕРЦЕВО-
ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ AUTOPULS.****Vorobyov A.A. / Воробйов О.М.***senior Lecturer. /старш. викл.*

ORCID: 0000-0001-5314-1075

Golova O.A. / Голова О.О.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-4903-4450

Lazarchuk-Vorobyova J.V. / Лазарчук-Воробйова Ю.В.*assistant/ асистент*

ORCID: 0000-0002-7866-3299

Feldi D.A./Фелді Д.А.*student/студент**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Prosp. Peremohy 37, 03056**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут**імені Ігоря Сікорського», Київ, пр. Перемоги 37, 03056*

Анотація. У статті розглянуто розробку комплексу для проведення механічної серцево-легеневої реанімації AutoPuls. Також наводяться його переваги перед схожими апаратами та його недоліки загалом, на основі яких розглядаються перспективи та способи його удосконалення.

Ключові слова: реанімація, медицина, СЛР (серцево-легенева реанімація), AutoPuls, пульс, ЕКГ, електрод, реле.

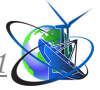
Вступ. Метою даної статті є розробка комплексу для механічної серцево-легеневої реанімації в сільській місцевості, де рівень медицини є досить низьким та характеризується нестачею кваліфікованих медичних працівників, в польових умовах, коли необхідно швидко винести потерпілого з місця бойових дій, що на даний момент є дуже актуальним, а також виявленні можливостей та напрямків його розвитку, вдосконалення та застосування цього комплексу.

В статті наведено аналіз останніх досліджень та публікацій в галузі автоматизації серцево-легеневої реанімації, в яких започатковано розв'язання проблем, пов'язаних з будовою апаратів та запропоновано варіанти вдосконалення його конструкції.

Основна частина.

На даний момент існує потреба у розробці комплексу для механічної серцево-легеневої реанімації який зможе полегшити роботу медичним працівникам в сільських місцевостях де рівень медицини є досить низьким та нестачею кваліфікованих медичних працівників та в польових умовах, коли необхідно швидко винести потерпілого з місця бойових дій, що на даний момент є дуже актуальним.

Серцево-легенево-мозкова реанімація (ресусцитація, СЛР, англ. cardiopulmonary resuscitation, CPR), - це невідкладна медична процедура,



спрямована на відновлення життєдіяльності організму та виведення його зі стану клінічної смерті. Включає штучну вентиляцію легенів (штучне дихання) та компресії грудної клітки (непрямий масаж серця).

Починати СЛР постраждалого необхідно якомога раніше. При цьому наявність двох із трьох ознак клінічної смерті - відсутність свідомості і пульсу - достатні свідчення для її початку. Засновником серцево-легеневої реанімації вважається австрійський лікар Петер Сафар, іменем якого названо потрібний прийом Сафара.

Показання до проведення СЛР:

- Відсутність свідомості
- Відсутність дихання
- Відсутність пульсу (ефективніше в такій ситуації перевіряти пульс на сонних артеріях)

Перші клінічні випробування механічної жилетної СЛР були проведені Н.Р. Halperin в 1993 році. Однією з таких конструктивних розробок є реанімаційна система AutoPulse, що випускається фірмою Zoll, яка є модифікацією жилетної СЛР з використанням розподілу навантаження компресійного ременя.

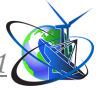
Система AutoPulse призначена для реанімації дорослих людей від 18 років і старше. AutoPulse являє собою пристрій, що складається з щита, на якому розташовується пацієнт, і охоплює грудну клітку пацієнта ременя, який при закріпленні на пацієнта автоматично стягується навколо грудної клітини і проводить компресії. Працює як в безперервному режимі (в разі протекції дихальних шляхів), так і в співвідношенні 30: 2, з двома послідовними паузами по 1,5 с для проведення штучного дихання у пацієнтів без протекції дихальних шляхів. Основна частина реанімаційної системи (рис. 1) - розподіляє навантаження компресійний ремінь, що розподіляє навантаження (LDB - loadistributing band) та складається з покривної пластини і двох жгутів, з'єднаних з компресійною накладкою за допомогою застібки, і є одноразовим. Приєднаний до платформи AutoPulse, ремінь автоматично підганяється під розміри пацієнта і забезпечує стиснення грудної клітини. Напівкružна компресія грудної клітини за допомогою AutoPulse забезпечує значне зменшення її об'єму, та, відповідно, збільшення внутригрудного тиску без небезпеки травматичних пошкоджень, оскільки виключається додаток зусилля тільки в одній точці компресії, як при проведенні стандартної СЛР.

Переваги системи:

- Можна використовувати у русі.
- Велика точність.
- Легкий та надійний у використанні.

Недоліки системи:

- Немає системи автоматичної ШВЛ (штучної вентиляції легень), її треба проводити рятувальникам самотійно.
- Для підключення АЕД (автоматичний електродефібрилятор) потрібно повністю відключати систему та знімати ремені, на встановлення яких



потрібно не менше хвилини.

- Немає системи, що регулює відновлення життєдіяльності.

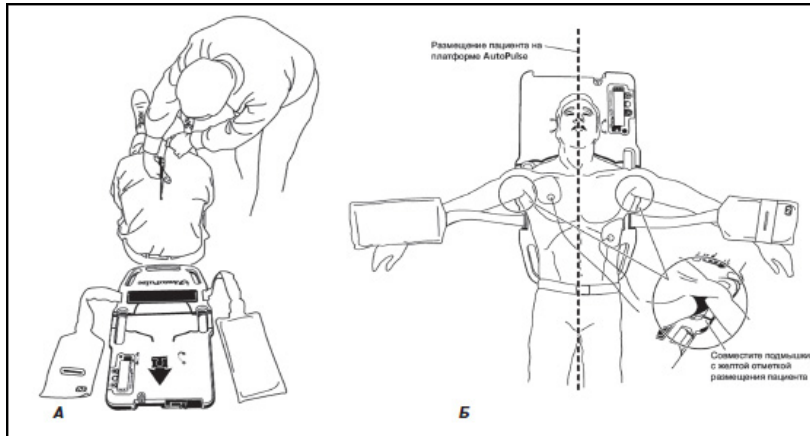


Рис. 1. Реанімаційна система AutoPulse

На основі проведеного дослідження було знайдено шлях розробки реанімаційного комплексу (рис. 4). Так як AutoPuls призначений для реанімації у русі, дуже важливим є повна автономність системи. Тому, як варіант, можна встановити в нього систему ШВЛ компанії ТОВ "Медсервіс Плюс ЛТД" (рис. 2). Її треба підключати окремо, але застосування цієї технології допоможе підвищити ефективність СЛР.



Рис. 2. Апарат ШВЛ

Цільовою функцією електрофізіологічної апаратури слід вважати одержання відображень процесів, що проявляються в зміні електричних параметрів – пасивних електричних властивостей або рівнів біопотенціалів; або чисельних значень деяких електричних властивостей біотканин, однозначно пов'язаних з процесами, що протікають у біооб'єкті.

При реєстрації біопотенціалів вимірювальні електроди підключають до обладнання з первинної обробки (ОПО), що містить підсилювальну частину (ПЧ) електрофізіологічного приладу або комплексу, основні проблеми проектування якої пов'язані з розробкою так званих підсилювачів біопотенціалів (ПБП). Схемо-технічне рішення цього вузла залежить від характеристик сигналу, що реєструється, місця накладення електрода і його



взаємовпливу з іншими електродами «відведення». Саме в забезпеченні необхідного контакту біологічного об'єкта з електродом, який є вхідним елементом підсилювача, пов'язано багато технічних проблем проектування вхідних ланцюгів підсилювальних вузлів цього виду медичної апаратури.

Електричний сигнал серця допоможе зафіксувати електрокардіограма. У даному випадку нам не потрібна надскладна система ЕКГ, адже у зв'язку з даним комплексом нам необхідно лише зареєструвати електричний сигнал серця, що буде сигналізувати про відновлення самостійного серцевого ритму. Для цього найкраще підійдуть одноразові електроди компанії ZOLL (рис. 3). Цей електричний сигнал буде передаватися до електромагнітного реле з типом монтажу на DIN-рейку, який у свою чергу вимкне апарат, що допоможе запобігти порушенню відновленого ритму та завдання постраждалому зайвого стресу та больових відчуттів.



Рис. 3. Електроди для прийняття електричного сигналу серця

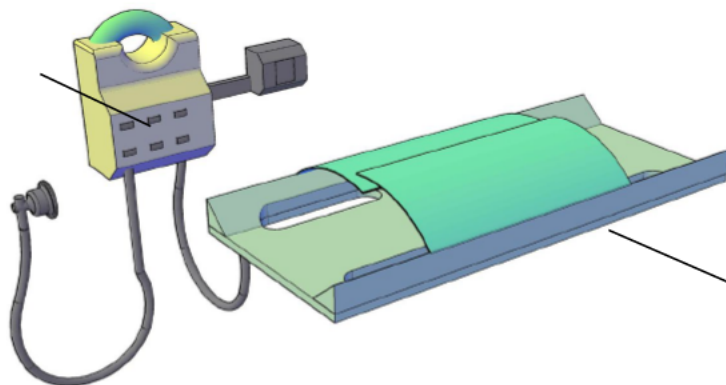


Рис. 4. Запропонований комплекс для проведення механічної серцево-легеневої реанімації: 1 – платформа з вмонтованим реле і ременями

Реанімаційний комплекс отримання електричного сигналу серця наведено на рис. 4.

Отже, таке удосконалення допоможе суттєво усунути недоліки апарату та поставити його поза конкуренції зі схожими апаратами, а також дозволить підвищити ефективність реанімаційних заходів та зменшити ризик смерті постраждалого.



Висновки. Розробка комплексу для проведення автоматичної серцево-легеневої реанімації спрямована, в першу чергу, на усунення таких недоліків, як відсутність регулюючої системи відновлення життєдіяльності, що в широкому клінічному застосуванні дозволяє покращити ефективність роботи таких апаратів та полегшити роботу рятувальникам, а також допоможе підвищити кількість врятованих життів.

Література:

1. Casner M., Andersen D., Isaacs S.M. Preliminary report of the impact of a new CPR assist device on the rate of return of spontaneous circulation in out of hospital cardiac arrest // Prehospital Emergency Care. — 2005. — Vol. 9. — P. 61-67.
2. Ong M.E., Ornato J.P., Edwards D.P. et al. Use of an automated, load-distributing band chest compression device for out-of-hospital cardiac arrest resuscitation // JAMA. — 2006. — Vol. 295. — P. 2629-2637.
3. Ong M.E.H, Sultana P., Fook-Chong S., Annitha A., Ang S.H., Tiah L., Yong K.L. Comparison of load — distributing band and standard cardiopulmonary resuscitation in patients presenting with cardiac arrest to the emergency department // Prehospital Emergency Care. — 2011. — Vol. 15. — P. 106.
4. Зильбер А.П. Этюды критической медицины. — М.: Медпресс-информ, 2006. — 568 с.
5. Ивантер, Э. В., Коросов, А. В. Элементарная биометрия : учеб. пособие / Э. В. Ивантер, А. В. Коросов. — Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. — 104 с.

Abstract. The article deals with the development of the complex for the mechanical cardiopulmonary resuscitation AutoPuls. It also outlines its advantages over similar devices and its disadvantages in general, on the basis of which prospects and ways of its improvement are considered.

Key words: resuscitation, medicine, CPR (cardiopulmonary resuscitation), AutoPuls, pulse, ECG, electrode, relay.

Стаття відправлена 03.03.2020

© Воробйов О.М.



УДК 615.471

IMPROVEMENT OF THE EXTRACTS OF THE ROBOTIC SURGICAL SYSTEM**ВДОСКОНАЛЕННЯ КІНЦІВОК РОБОТИЗОВАНОЇ ХІРУРГІЧНОЇ СИСТЕМИ****Vorobyov A.A. / Воробйов О.М.***senior Lecturer. / старш. викл.*

ORCID: 0000-0001-5314-1075

Golova O.A. / Голова О.О.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-4903-4450

Lazarchuk-Vorobyova J.V. / Лазарчук-Воробйова Ю.В.*assistant/ асистент*

ORCID: 0000-0002-7866-3299

Zubritskiy V.O. / Зюбрицький В.О.*student/ студент**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Prosp. Peremohy 37, 03056**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут**імені Ігоря Сікорського», Київ, пр. Перемоги 37, 03056*

Анотація. У статті розглянуто спосіб модифікації роботизованого хірургічного маніпулятора за рахунок гнучких елементів в конструкції з метою підвищення точності та свободи дій спеціаліста.

Ключові слова – хірургічна система, ендоскопічна хірургія, роботизована хірургія, гнучкий маніпулятор, гнучкий вал.

Вступ. Роботизована хірургія дозволяє виконувати складні і досі неможливі операційні втручання за рахунок використання роботизованих маніпуляторів та 3D камер. Завдяки роботизованій ендоскопічній хірургії стали можливими зшивання нервів, судин та інші менш травматичні операції. Все це розширює спектр можливостей лікаря, тому що він отримав комплекс інструментів, які роблять його дії точнішими та акуратнішими. Але є куди удосконалювати цей прилад – запропонована у роботі модифікація підвищує гнучкість і ступінь свободи маніпулятора, що значно підвищить якість оперативного втручання.

Формування цілей (постановка завдання). Модифікувати елементи, що забезпечують гнучкість і свободу кінцівок маніпулятора.

Основна частина. Провідною компанією у галузі роботизованої ендоскопії є американська компанія Intuitive Surgical, яка розробила - роботизовану хірургічну систему Da Vinci Surgical System. Для взаємодії з пацієнтом ця система використовує комплекс інструментів EndoWrist. Цей комплекс має усі необхідні інструменти для ендоскопічної хірургії, такі, як голкотримачі, степлери, зажими, тримачі, ножиці, скальпелі.

В традиційній і роботизованій хірургії існують два типи ендоскопів: прямі і гнучкі. Гнучкі ендоскопи застосовуються у складніших втручаннях, де потрібно більша рухомість маніпулятора. Основною частиною ендоскопів усіх типів є рука маніпулятора, безпосередньо до якої закріплюється хірургічний



інструмент.

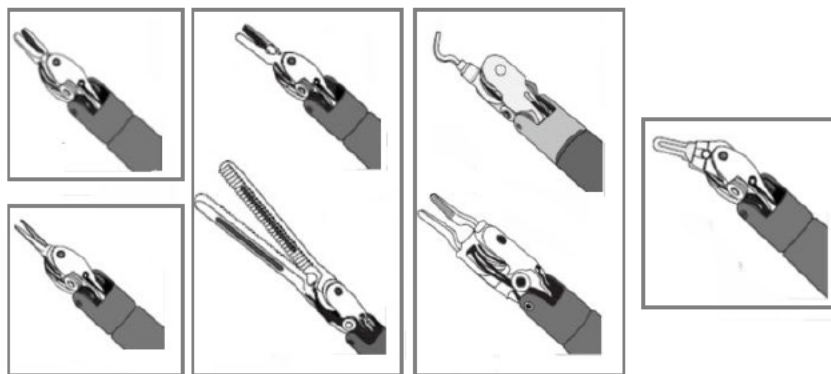


Рис.1 Приклади інструментів хірургічної системи:
1- голкотримач; 2-ножиці; 3-зажими; 4-коагулятори; 5-скальпель.

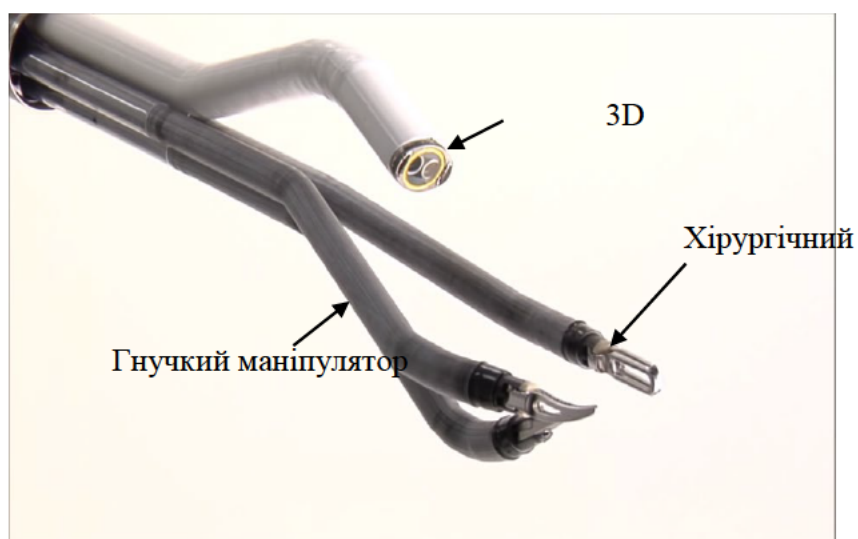


Рис.2 Ендоскопічний «пучок» з гнучкими маніпуляторами.

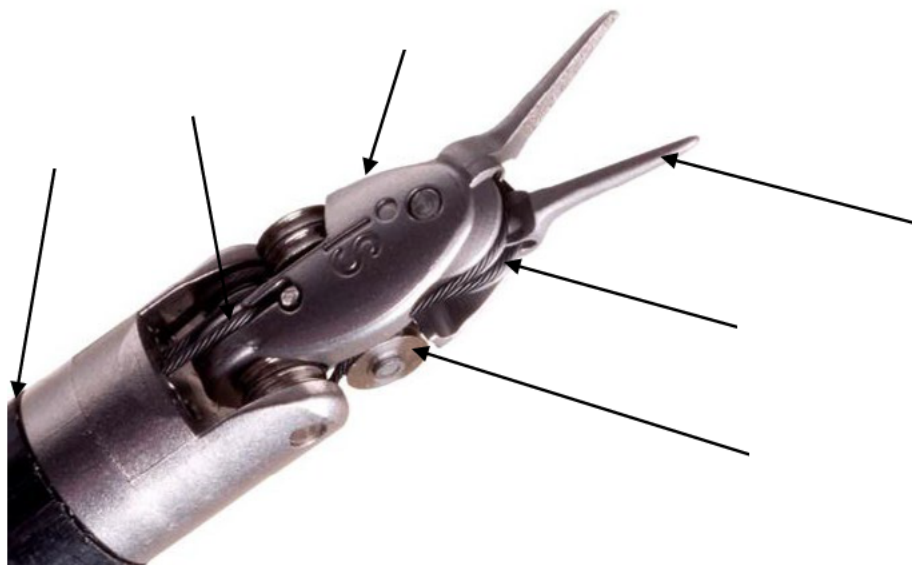


Рис.3. Робоча частина базового маніпулятора:
1-рука маніпулятора; 2-кисть ; 3-корпус для захвату ; 4-шків; 5-трос;
6-захват.



За рахунок збільшення ступенів свободи руки маніпулятора ми можемо збільшити зручність, точність, швидкість виконання операції.

Управління маніпулятором здійснюється за рахунок системи тросів, які приводять в рух робочу частину і прикріплюються до робочої частини, проходячи через весь маніпулятор, де їх натяг регулюють електродвигуни.

Але ми бачимо дещо обмежений ступінь свободи, що, в свою чергу, звужує можливості для втручання. Задля поліпшення рухових характеристик системи нами було запропоновано впровадити в базову конструкцію (рис. 4) «гнучкі елементи» (рис. 5).

Гнучкий вал (4) за допомогою тросів (5) підтримує систему повздовжних та поперечних осей обертання. Він вбудований в конструкцію бази (1), обертає платформу (2), яка дозволяє обертати навколо своєї осі кінцеву частину маніпулятора – тримач (3) під різними кутами згину інструмента.

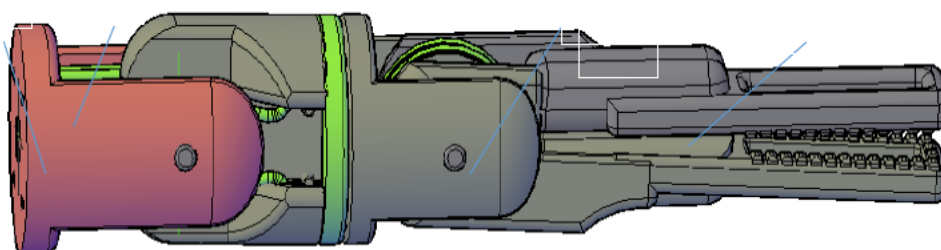


Рис.4 Приклад модифікованої версії маніпулятора.

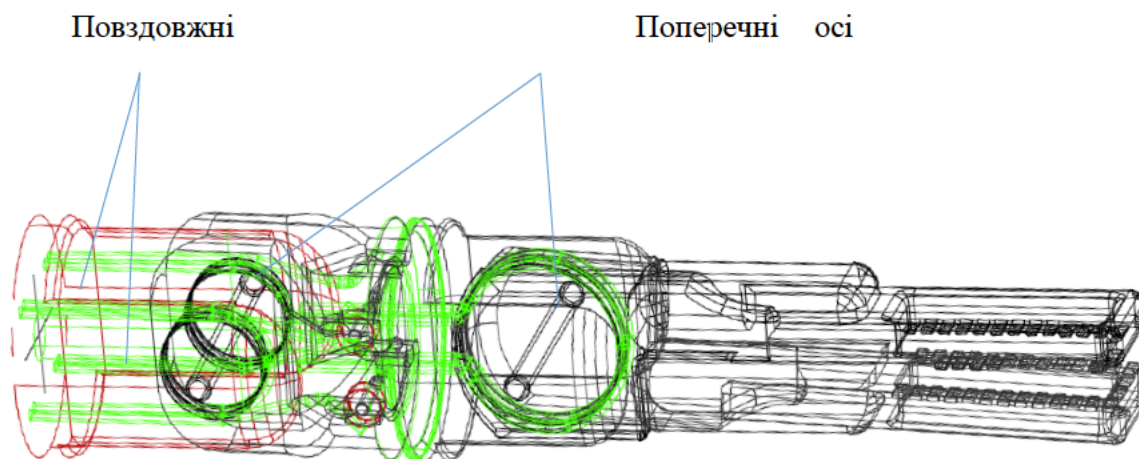


Рис.5 Внутрішня будова модифікованого маніпулятора: система осей

Порівняно з базовою версією, у запропонованій нами конструкції з'явилася можливість обертання маніпулятора під кутом більше ніж $\pm 90^\circ$.

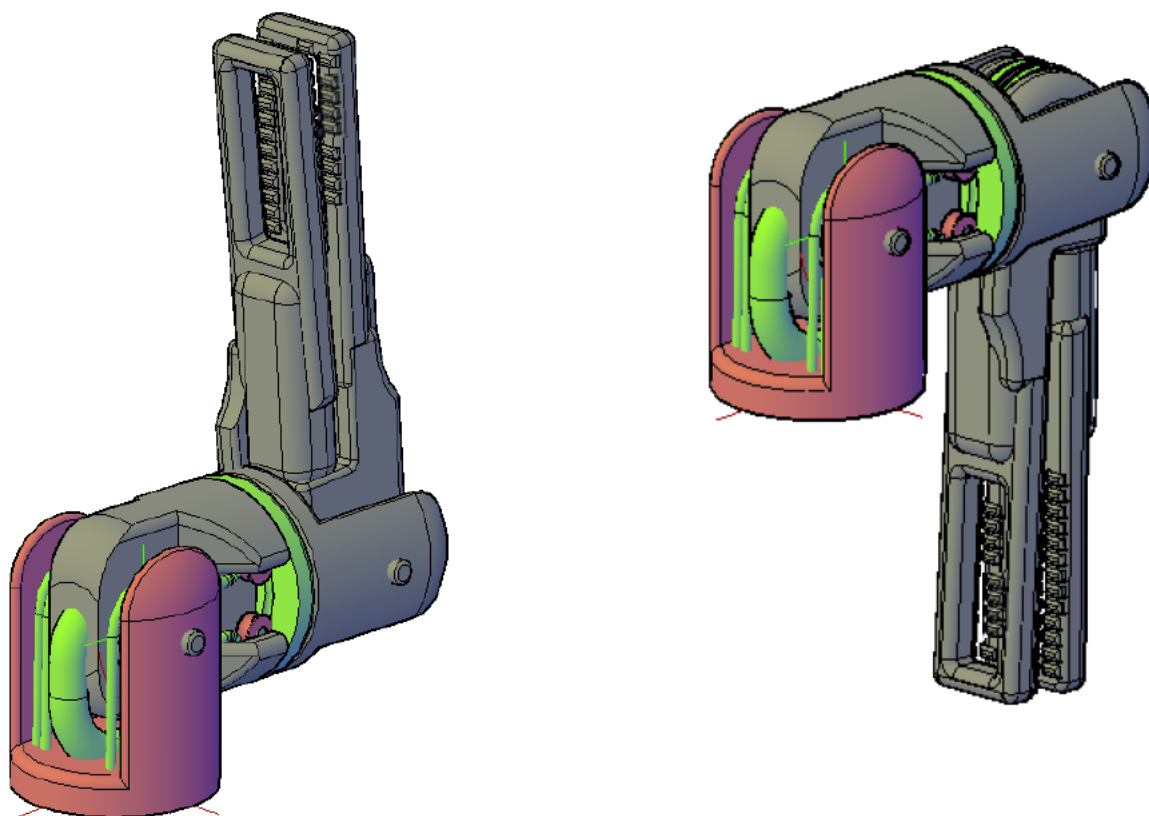


Рис.6 Демонстрація можливостей модифікованої версії.

Висновки. Стаття розглядає один із способів модифікації роботизованих маніпуляторів з метою підвищення точності та свободи маніпуляційних дій, що призведе до полегшення проведення хірургічного втручання. До того ж, система може бути використана не тільки у сфері медицини, а й у космонавтиці, мікроелектроніці та в інших галузях.

Дана робота може стати основою для подальших винаходів і проектів.

Література:

1. Da Vinci Instruments [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.intuitive.com/en-us/products-and-services/da-vinci/instruments##>

Abstract. The article deals with the modification of a robotic surgical manipulator by flexible elements in the structure in order to improve the accuracy and freedom of action of a specialist.

Keywords - surgical system, endoscopic surgery, robotic surgery, flexible manipulator, flexible shaft.

Стаття відправлена 05.03.2020

© Воробйов О.М.



УДК 504.064

**DETECTION THE BIOLOGICAL EFFECT OF RADIO WAVES FROM
MOBILE PHONES USING THE GROWTH PHYTOTEST
ВІЯВЛЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ РАДІОХВИЛЬОВОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕФОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ
РОСТОВОГО ФІТОТЕСТУ**

Kundelchuk O.P./Кундельчук О.П.*c.b.s., as. prof. / к.б.н., доц.***Ginkovskaya A.S./Гінковська А.С.***stud./ студ.***Semenyuk S.K./ Семенюк С.К.***c.b.s., as. prof. / к.б.н., доц.***Akimova M.O./Акімова М.О.***assistant/ асистент**Kherson State University, Kherson, University str., 27, 73000**Херсонський державний університет, Херсон, вул. Університетська 27, 73000*

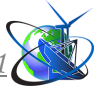
Анотація. *Радіохвильове випромінювання від мобільних телефонів впливає на роботу клітин живих організмів, що становить небезпеку для здоров'я користувачів. В роботі досліджувалася можливість використання програми «Ultimate EMF Detector» для мобільних телефонів «Android» і фітотесту проростаюче насіння рослин для встановлення безпечної відстані між споживачем і мобільним телефоном в режимі очікування.*

Програма «Ultimate EMF Detector» і портативний тестер електромагнітного поля «ККМоон GM 3120» виявили небезпечний рівень радіохвильового випромінювання лише в безпосередній близькості від мобільного телефону, який тестувався. Вже на відстані 25 см від приладу програма зареєструвала лише природне геомагнітне поле Землі. Тоді як аналіз ростових параметрів коренів і епікотилів проростків ячменю при режимі пророщування 12 годин світло / 12 годин темрява показав статистично достовірний біологічний ефект випромінювання від мобільного телефону навіть на відстані 2,0 м від приладу. При цьому виявлена ростова відповідь залежала від відстані від мобільного телефону і носила синусоїдальний характер, що дозволяє припустити наявність ефекту резонансу електромагнітних хвиль від мобільного телефону. Виявлена в ході дослідження залежність характеру ростової відповіді модельних рослин від присутності видимого світла свідчить на користь регуляторного, а не травматичного впливу випромінювання від мобільного телефону на розвиток проростків ячменю.

В цілому було показано, що контролюючі прилади не дозволяють встановити безпечну відстань між мобільним телефоном в режимі очікування і користувачем, оскільки не виявляють біологічно ефективні рівні радіохвильового випромінювання, тривалий неконтрольований вплив яких може мати непередбачувані наслідки для здоров'я людини.

Ключові слова: *радіохвильове випромінювання, мобільний телефон, безпека користування, біологічні ефекти, ростовий фітотест.*

Вступ. Проведені наукові дослідження показали, що високочастотне радіохвильове випромінювання від мобільних телефонів впливає на роботу генетичного апарату живих організмів, викликає в клітинах оксидативний стрес, провокує накопичення пошкоджень в ДНК [4, 11], що, в свою чергу, достовірно підвищує ризик розвитку ракових та інших захворювань організму [5, 13]. При цьому, вимкнений телефон створює навіть більш інтенсивне електромагнітне поле порівняно з телефоном в режимі «Зв'язок», що пов'язано з



особливостями роботи мобільних телефонних мереж: коли телефон увімкнений і не використовується, він надсилає сигнали для з'єднання з сусідніми вишками стільникового зв'язку і це сигнальне випромінювання може бути вищим, ніж рівень випромінювання, який генерується телефоном під час розмови [10]. Крім того, було встановлено, що рівень радіохвильового випромінювання від мобільного телефону значною мірою залежить від фірми, яка виробляє дані прилади [10].

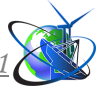
Подальші дослідження біологічної дії радіохвильового випромінювання від мобільного телефону показали, що ефект залежить не тільки від частоти і тривалості використання приладу, але й від відстані приладу від організму. При цьому виявлення того факту, що в режимі "Виключено" телефон генерує інтенсивні радіохвилі, поставило питання про безпеку носіння вимкненого телефону в кишенях одягу, розміщення телефону біля ліжка сплячої людини і т.н. [10].

На сьогоднішній день ні у кого не викликає сумніву потенційна небезпека використання мобільних телефонів споживачами. Однак, темп і вимоги сучасного життя не дозволяють відмовитися від приладів такого типу. У зв'язку з вищевикладеним, актуальним є здійснення контролю інтенсивності радіохвильового випромінювання від мобільних телефонів і встановлення безпечних просторових меж під час користування означеним приладом.

Слід зазначити, що професійні вимірювальні прилади коштують дорого і не доступні для рядового споживача. Нещодавно в інтернет мережі з'явився безкоштовний додаток «Ultimate EMF Detector» для мобільних телефонів «Android», який дозволяє вимірювати напруженість електромагнітного поля. Оскільки непрофесійні вимірювальні програми на смартфонах досить сильно критикуються, виникає необхідність перевірки можливості використання програми «Ultimate EMF Detector» для встановлення рівня випромінювання від мобільного телефону і визначення безпечної відстані між телефоном і організмом людини під час користування означеним приладом. При цьому контрольні заходи не повинні обмежуватися встановленням відповідності рівня випромінювання діючим нормативам, але й бути підтвердженими відсутністю біологічних ефектів на живих системах на визначеній відстані.

Сьогодні біологічна безпека електромагнітного випромінювання від приладів оцінюється на культурі клітин людини, на тваринах, рослинах, бактеріях і т.н. Серед біотестів, які використовуються, найбільш доступними є фітотести з застосуванням модельної системи проростаюче насіння рослин. Рослинний організм є високо чутливим до електромагнітного випромінювання внаслідок особливостей типу харчування (фотосинтез) і сидячого способу життя [21]. При цьому слід зазначити, що дані, отримані на рослинних тест-системах, добре узгоджуються з даними, отриманими на тваринах і на культурі клітин людини.

Метою даного дослідження було перевірити можливість використання інтернет-програми «Ultimate EMF Detector» і фітотесту проростаюче насіння рослин для встановлення безпечної відстані між споживаєм і мобільним телефоном в режимі очікування.



Матеріали і методи дослідження. Для встановлення напруженості електромагнітного поля, створюваного мобільним телефоном "Nokia", нами використовувався додаток «Ultimate EMF Detector» до мобільного телефону «Android», а також портативний тестер електромагнітного поля «KKMoon GM 3120», який дозволяє реєструвати показники електричного і магнітного поля в навколишньому середовищі в діапазоні частот 5 Гц - 3500 МГц.

З метою виявлення біологічного ефекту радіохвильового випромінювання від мобільного телефону, насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) пророщували протягом 4-х днів в ч. Петрі на водопровідній не кип'яченій воді при двох режимах освітлення: а) 12 годин світло / 12 годин темрява і б) постійна темрява. Щодня проростки піддавали впливу електромагнітного випромінювання від мобільного телефону "Nokia" протягом 12 годин у нічний час доби (з 20⁰⁰ год до 8⁰⁰ год). При цьому проростки експонувалися на різній відстані від мобільного телефону: 0 м, 1,0 м, 1,5 м і 2,0 м.

На 4-у добу пророщування вимірювали довжину коренів (найдовшого кореня в мочкуватій кореневій системі) і епикотилів проростків. На підставі отриманих даних розраховували середню довжину коренів і середню довжину епикотилів. Всі дані статистично оброблялися.

Результати дослідження. Використання інтернет-програми «Ultimate EMF Detector» для мобільних телефонів «Android» дозволило виявити радіохвильове випромінювання від мобільного телефону "Nokia" в безпосередній близькості від телефону, який знаходився в режимі «включено, без розмови», інтенсивністю 87-174 мкТл, в залежності від положення мобільного телефону відносно реєструючого пристрою. Вже на відстані 25 см від телефону програма реєструвала тільки геомагнітне поле Землі з напруженістю 44-45 мкТл. Чутливість портативного тестера електромагнітного поля «KKMoon GM 3120» до радіохвильового випромінювання від мобільного телефону виявилася значно нижчою, ніж у додатка «Ultimate EMF Detector» до мобільних телефонів.

Пророщування насіння ячменю біля мобільного телефону "Nokia" (0 м) в умовах постійної темряви призвело до достовірного зменшення середньої довжини коренів проростків в порівнянні з контролем: з $49,78 \pm 4,75$ мм до $39,18 \pm 3,67$ мм, відповідно. В якості контролю використовувалися проростки, які вирощувалися в приміщенні без мобільного телефону. Збільшення відстані між мобільним телефоном і проростками до 1,0 м зняло ефект гальмування росту коренів: ростові показники коренів на відстані 1,0 м від мобільного телефону відповідали таким у контролі.

Епикотилі проростків в безпосередній близькості від мобільного телефону (0 м) показали певне гальмування росту, проте, відмінності від контролю виявилися статистично не достовірними: $50,93 \pm 3,98$ мм і $47,88 \pm 3,71$ мм, відповідно. Цікаво відзначити слабе гальмування росту коренів на відстані 2,0 м від мобільного телефону, порівняно з контролем, яке, однак, виявилось статистично не достовірним ($44,94 \pm 4,16$ мм і $49,78 \pm 4,75$ мм, відповідно).

Пророщування насіння ячменю при режимі освітлення 12 годин світло / 12 годин темрява в безпосередній близькості від мобільного телефону, призвело до певного пригнічення росту коренів у порівнянні з контролем ($40,52 \pm 4,84$



мм і $44,73 \pm 3,67$ мм, відповідно). Однак, це інгібування не було статистично достовірним. Проте на відстані 1,0 м від мобільного телефону гальмування росту і коренів, і епікотилів в порівнянні з контролем було статистично достовірним і склало для коренів: $32,94 \pm 2,66$ мм в досліді в порівнянні з $44,73 \pm 3,67$ мм в контролі, і для епікотилів: в досліді $47,72 \pm 2,58$ мм в порівнянні з $53,21 \pm 2,39$ мм в контролі.

Аналогічне статистично достовірне гальмування росту коренів і епікотилів ячменю було зареєстровано на відстані 2,0 м від мобільного телефону і склало для коренів: в досліді $29,90 \pm 2,70$ мм в порівнянні з $44,73 \pm 3,67$ мм в контролі; і для епікотилів: в досліді $46,81 \pm 3,20$ мм в порівнянні з $53,21 \pm 2,39$ мм в контролі. Тоді як на відстані 1,5 м від мобільного телефону ростові параметри і коренів, і епікотилів проростків ячменю - відповідали контрольним значенням.

Таблиця 1.

Вплив радіохвильового випромінювання від мобільного телефону на ріст коренів і епікотилів проростків ячменю при режимі вирощування в постійній темряві

Відстань до мобільного телефону, м:	Середня довжина коренів $\pm Sx \cdot tst$	Середня довжина епікотилів $\pm Sx \cdot tst$
Контроль	$49,78 \pm 4,75$	$50,93 \pm 3,98$
0 м	$39,18 \pm 3,67^*$	$47,88 \pm 3,71$
1,0 м	$49,52 \pm 5,51$	$50,61 \pm 4,16$
1,5 м	$49,36 \pm 3,16$	$49,61 \pm 2,75$
2,0 м	$44,94 \pm 4,16$	$48,50 \pm 3,66$

* - результати достовірно відрізняються від контрольних значень (пророщування насіння за умови відсутності мобільного телефону в експериментальному приміщенні).

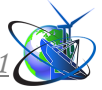
Таблиця 2.

Вплив радіохвильового випромінювання від мобільного телефону на ріст коренів і епікотилів проростків ячменю при світловому режимі вирощування 12 годин світло / 12 годин темрява

Відстань до мобільного телефону, м:	Середня довжина коренів $\pm Sx \cdot tst$	Середня довжина епікотилів $\pm Sx \cdot tst$
Контроль	$44,73 \pm 3,67$	$53,21 \pm 2,39$
0 м	$40,52 \pm 4,84$	$52,04 \pm 3,50$
1,0 м	$32,94 \pm 2,66^*$	$47,72 \pm 2,58^*$
1,5 м	$44,58 \pm 3,55$	$53,15 \pm 2,43$
2,0 м	$29,90 \pm 2,70^*$	$46,81 \pm 3,20^*$

* - результати достовірно відрізняються від контрольних значень (пророщування насіння за умови відсутності мобільного телефону в експериментальному приміщенні).

Обговорення отриманих результатів. Проведені нами дослідження з використанням програми «Ultimate EMF Detector» показали, що напруженість



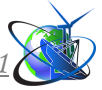
природного геомагнітного поля Землі в зоні дослідження становила 44-45 мкТл. Безпосередньо біля мобільного телефону «Nokia», який знаходився в режимі «включено, без розмови», показники пристрою різко зростали і коливалися в межах 87-174 мкТл, в залежності від положення мобільного телефону відносно реєструючого пристрою. Але, вже на відстані 25 см від телефону ні програма «Ultimate EMF Detector», ні прилад «KKMoon GM 3120» не реєстрували перевищення напруженості геомагнітного поля Землі. Тоді як аналіз ростових параметрів проростків ячменю при режимі пророщування 12 годин світло / 12 годин темрява показав статистично достовірний ростовий ефект випромінювання від мобільного телефону навіть на відстані 2,0 м від телефону.

При цьому, виявлена нами ростова відповідь залежала від відстані від мобільного телефону і носила синусоїдальний характер, що дозволяє припустити наявність ефекту резонансу електромагнітних хвиль від мобільного телефону: при зустрічі електромагнітних хвиль різної довжини в одній фазі з кроком в 0,5 м може створюватися колорезонансний ефект, який проявляється в значному гальмуванні росту проростків на відстанях 1,0 м і 2,0 м від мобільного телефону. В умовах присутності видимого світла ця відповідь була більш вираженою порівняно з режимом вирощування проростків в умовах постійної темряви.

Серед усіх організмів - рослини є найбільш сприйнятливими до змін електромагнітного поля навколишнього середовища як внаслідок специфіки їх харчування, так і способу життя [21]. Аналіз літературних даних свідчить про те, що рослини реагують не тільки на зміни в видимій частини електромагнітного спектра, але також є високочутливими до радіохвильового випромінювання [2, 8, 12].

Слід зазначити, що в роботах на різних об'єктах і частотах радіохвильового випромінювання різними авторами були отримані діаметрально протилежні результати: в одних випадках показано гальмування, а в інших - стимулювання ростових процесів радіохвильовим випромінюванням [20], що опосередковано може свідчити не лише про травматичний, але й про регуляторний вплив випромінювання означеного типу на рослинний організм. В природних умовах рослини отримують крім світлового випромінювання також і частково радіохвильове випромінювання Сонця, оскільки в атмосфері є вікна прозорості для радіохвильового випромінювання певних частот (і радіохвильове випромінювання від мобільних телефонів входить в цей діапазон вікон прозорості) [1, 6]. Таким чином, цілком можливим є формування у рослин в процесі еволюції регуляторних механізмів, здатних підлаштовувати функціонування рослин не тільки до видимого світла, але також і до радіохвильового електромагнітного випромінювання Сонця. Радіохвилі мають значну проникну здатність і менше розсіюються в порівнянні з видимим світлом. Тому, еволюційно, поява у рослин здатності реагувати на радіохвильове випромінювання Сонця мала забезпечити їм переваги і підвищити конкурентоспроможність в порівнянні з рослинами, які не мали таких рецепторів.

Крім того, нещодавно Beaubois E. з колегами (2007) [3] було встановлено,



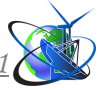
що локальна дія радіохвильового випромінювання частотою 900 МГц, інтенсивністю 5 В/м тривалістю 10 хвилин на лист рослини томата дикого типу викликає в просторово віддаленому листі швидке і значне накопичення молекул мРНК фактора транскрипції bZIP, пов'язаного зі стресом, з кінетикою, аналогічною відповіді на раньове пошкодження листа. Таким чином, отримані Beaubois E. з колегами (2007) дані свідчать про те, що слабе зовнішнє радіохвильове випромінювання, параметри якого відповідають випромінюванню від мобільного телефону, спроможне викликати передачу сигналів і системну експресію раньових генів у рослин томата [3].

Слід зазначити, що рецептори на радіохвилі на сьогоднішній день не знайдені. Однак встановлено, що живі організми здатні сприймати високочастотне радіохвильове випромінювання як регуляторне. Так, Friedman J. з колегами (2007) [7] було показано, що радіохвильове випромінювання від мобільного телефону активує в клітинах людини сигнальні шляхи ERK1/2, які, зокрема, задіяні в проліферації клітин, що може пояснити канцерогенний ефект випромінювання від мобільного телефону [7]. У рослин був виявлений аналогічний сигнальний шлях [17], що дозволяє припустити здатність рослин також сприймати радіохвильове випромінювання від мобільних телефонів як регуляторне. Цим можна пояснити той факт, що спрямованість ростового ефекту радіохвильового випромінювання залежить від видової приналежності рослин, від інтенсивності, тривалості і частотного діапазону електромагнітних хвиль, які діють на рослини [20]. У зв'язку з цим цікаво відзначити, що для рослин показана підвищена чутливість до певних частот радіохвильового випромінювання: а) між 800 - 1500 МГц ($p < 0.0001$), б) 1500 - 2400 МГц ($p < 0.0001$) і в) 3500 - 8000 МГц ($p = 0.0161$) [8].

Слід відмітити, що в більшості робіт був виявлений гальмуючий ефект радіохвильового випромінювання від мобільних телефонів на ріст коренів і пагонів рослин. Так, дослідження, проведені Hussein R.A. з колегами (2014) [10], показали, що випромінювання від мобільного телефону пригнічує ріст ембріональних клітин пшениці. Причому інгібуючий ефект на відстані 5 см був слабкішим, ніж на відстані 10-15 см [10]. В інших роботах також було виявлено, що радіохвилі мобільних телефонів і підстанцій мобільного зв'язку (з частотою випромінювання 850-1900 МГц) редукують проростання квіткових рослин і гальмують ріст коренів і пагонів [12].

Ряска (*Lemna minor* L.) широко використовується як модельна рослина для моніторингу навколишнього середовища. Tkalec M. з колегами (2005) [18] протягом 2-14 годин піддавали рослини ряски впливу радіохвильового випромінювання частотою 400, 900 і 1900 МГц і інтенсивністю 10 В/м, 23 В/м і 390 В/м. На підставі отриманих результатів автори роботи дійшли висновку, що ростовий ефект високочастотного радіохвильового випромінювання значною мірою залежить від інтенсивності поля, від частот, які використовувалися, і від тривалості впливу на організм [18].

Halgamuge M.N. з колегами (2015) [9] експонували чотириденні проростки сої (*Glycine max*) впродовж 2 годин на випромінюванні, яке відповідало частоті і інтенсивності випромінювання від станції мобільного зв'язку та від



мобільного телефону. Проведені дослідження показали, що імпульсне високоамплітудне (41 В/м) радіохвильове випромінювання (таке, що відповідає амплітуді мобільного телефону), але не низькоамплітудне випромінювання (7 В/м) (таке, що відповідає амплітуді випромінювання станції мобільних телефонів) загальмувало ріст епикотилів проростків; постійне високоамплітудне випромінювання - загальмувало ріст коренів; тоді як експозиція проростків сої протягом 5 днів на низько-інтенсивному радіохвильовому випромінюванні (900 МГц, 0,56 В/м) призвела до редукції росту епикотилів і гіпокотилів, і до стимуляції росту коренів [9].

Подальші дослідження показали, що вплив радіохвильового поля на частотах мобільного телефонного зв'язку (900 МГц) індукує окислювальний стрес у рослин, який супроводжується генеруванням реактивних форм кисню і змінами активності антиоксидантних ензимів, а також викликає неспецифічні стресові реакції, що в підсумку призводить до пригнічення ростових процесів у рослин [15-16, 19]. Roux D. з колегами (2008) [14] було встановлено, що слабкі радіохвилі частотою 900 МГц, інтенсивністю 5 В/м при експозиції рослин томатів (*Lycopersicon esculentum*) протягом 10 хвилин призводять до відповіді, аналогічній відповіді на раньове пошкодження [14]. Таким чином, ріст-гальмуючий ефект радіохвильового випромінювання на частотах мобільного телефонного зв'язку пов'язаний з розвитком в клітинах рослин оксидативного стресу і з транскрипційною відповіддю, аналогічною відповіді рослин на раньове пошкодження.

Виявлена нами залежність ростової відповіді модельних рослин від присутності видимого світла свідчить на користь регуляторного, а не травматичного впливу випромінювання від мобільного телефону на розвиток проростків ячменю. Проте, об'єктивно, природа впливу радіохвильового випромінювання від мобільного телефону на проростки модельної рослини може бути визначена лише шляхом подальших цитологічних і цитогенетичних досліджень. Але в будь-якому випадку наявність біологічного впливу (регуляторного чи травматичного) є свідченням небезпеки роботи мобільного телефону в безпосередній близькості від організму людини. Так, тривала неконтрольована дія регуляторного чинника може мати непередбачувані наслідки для функціонування живого організму, що має бути врахованим зокрема, з огляду на щоденну багатогодинну присутність мобільних телефонів в безпосередній близькості від організму людини (в кишені одягу, біля ліжка і т.н.).

В цілому, отримані нами експериментальні дані дозволяють стверджувати, що ні інтернет-програма «Ultimate EMF Detector» для виявлення радіохвильового випромінювання, ні портативний тестер електромагнітного поля «KKMoon GM 3120» не дозволяють встановити безпечну відстань між мобільним телефоном і користувачем: вже на відстані 25 см від телефону програма і прилад не реєстрували перевищення природного геомагнітного поля Землі, тоді як ростовий тест показав біологічний ефект навіть на відстані 2,0 м від мобільного телефону.

На підставі результатів проведених нами досліджень, ми пропонуємо



використовувати тест «проростаюче насіння рослин» для виявлення присутності радіохвильового випромінювання від мобільного телефону з інтенсивністю, достатньою для індукції біологічних ефектів у живих організмів. При цьому достовірне відхилення ростових параметрів модельних рослин в присутності мобільного телефону в порівнянні з контрольними варіантами буде свідчити про наявність фонових радіохвильового випромінювання, інтенсивність якого, потенційно, може виявитися небезпечною для користувача телефоном.

Література:

1. Излучение Солнца, электронный ресурс: <http://geoman.ru/books/item/f00/s00/z0000101/st024.shtml>
2. Balmori A. Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife // Pathophysiology. – 2009. – Vol. 16(2-3). – P. 191 - 199. doi: 10.1016/j.pathophys.2009.01.007.
3. Beaubois E., Girard S., Lallechere S., Davies E., Paladian F., Bonnet P., Ledoigt G., Vian A. Intercellular communication in plants: evidence for two rapidly transmitted systemic signals generated in response to electromagnetic field stimulation in tomato // Plant Cell Environ. – 2007. – Vol. 30(7). – P. 834 - 844.
4. Belpomme D., Hardell L., Belyaev I., Burgio E., Carpenter D.O. Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective // Environ Pollut. – 2018. – Vol. 242(Pt A). – P. 643 - 658. doi: 10.1016/j.envpol.2018.07.019.
5. Belyaev I., Dean A., Eger H., Hubmann G., Jandrisovits R., et al. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses // Rev. Environ. Health. – 2016. – Vol. 31(3). – P. 363 - 397. doi: 10.1515/reveh-2016-0011.
6. Do radio waves from the Sun reach Earth? Електронний ресурс: <https://physics.stackexchange.com/questions/268125/do-radio-waves-from-the-sun-reach-earth>.
7. Friedman J., Kraus S., Hauptman Y., Schiff Y., Seger R. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies // Biochem. J. – 2007. – Vol. 405(3). – P. 559 - 568.
8. Halgamuge M.N. Review: Weak radiofrequency radiation exposure from mobile phone radiation on plants // Electromagn. Biol. Med. – 2017. – Vol. 36(2). – P. 213 - 235. doi: 10.1080/15368378.2016.1220389.
9. Halgamuge M.N., Yak S.K., Eberhardt J.L. Reduced growth of soybean seedlings after exposure to weak microwave radiation from GSM 900 mobile phone and base station // Bioelectromagnetics. – 2015. – Vol. 36(2). – P. 87 - 95. doi: 10.1002/BEM.21890.
10. Hussein R.A., El-Maghraby M.A. Effect of two brands of cell phone on germination rate and seedling of wheat (*Triticum aestivum*) // J. Environ. Pollut. Hum. Health. – 2014. – Vol. 2. – P. 85 - 90.
11. Karaca E., Durmaz B., Aktug H., Yildiz T., Guducu C., et al. The genotoxic effect of radiofrequency waves on mouse brain // J. Neurooncol. – 2012. – Vol.



106(1). – P. 53 - 58. doi: 10.1007/s11060-011-0644-z.

12. Khan M.D., Ali S., Azizullah A., Shuijin Z. Use of various biomarkers to explore the effects of GSM and GSM-like radiations on flowering plants // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2018. – Vol. 25(25). – P. 24611 - 24628. doi: 10.1007/s11356-018-2734-3.

13. Morgan L.L., Miller A.B., Sasco A., Davis D.L. Mobile phone radiation causes brain tumors and should be classified as a probable human carcinogen (2A) (review) // *Int. J. Oncol.* – 2015. – Vol. 46(5). – P. 1865 - 1871. doi: 10.3892/ijo.2015.2908.

14. Roux D., Vian A., Girard S., Bonnet P., Paladian F., Davies E., Ledoigt G. High frequency (900 MHz) low amplitude (5 V m⁻¹) electromagnetic field: a genuine environmental stimulus that affects transcription, translation, calcium and energy charge in tomato // *Planta.* – 2008. – Vol. 227(4). – P. 883 - 891.

15. Singh H.P., Sharma V.P., Batish D.R., Kohli R.K. Cell phone electromagnetic field radiations affect rhizogenesis through impairment of biochemical processes // *Environ. Monit. Assess.* – 2012. – Vol. 184(4). – P. 1813 - 1821. doi: 10.1007/s10661-011-2080-0.

16. Sharma V.P., Singh H.P., Kohli R.K., Batish D.R. Mobile phone radiation inhibits *Vigna radiata* (mung bean) root growth by inducing oxidative stress // *Sci. Total Environ.* – 2009. – Vol. 407(21). – P. 5543 - 5547. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.07.006.

17. Taj G., Agarwal P., Grant M., Kumar A. MAPK machinery in plants: Recognition and response to different stresses through multiple signal transduction pathways // *Plant Signal. Behav.* – 2010. – Vol. 5(11). – P. 1370 - 1378. doi: 10.4161/psb.5.11.13020.

18. Tkalec M., Malaric K., Pevalek-Kozlina B. Influence of 400, 900, and 1900 MHz electromagnetic fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity // *Bioelectromagnetics.* – 2005. – Vol. 26(3). – P. 185 - 193.

19. Tkalec M., Malaric K., Pevalek-Kozlina B. Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed *Lemna minor* L. // *Sci. Total. Environ.* – 2007. – Vol. 388(1-3). – P. 78 - 89.

20. Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P. Plant Responses to High Frequency Electromagnetic Fields // *Biomed. Res. Int.* – 2016. – Vol. 2016:1830262. doi: 10.1155/2016/1830262.

21. Vian A., Faure C., Girard S., Davies E., Halle F., Bonnet P., Ledoigt G., Paladian F. Plants Respond to GSM-Like Radiation // *Plant Signal. Behav.* – 2007. – Vol. 2(6). – P. 522 - 524.

References:

1. Sun radiation, [online]. Available at: <http://geoman.ru/books/item/f00/s00/z0000101/st024.shtml>.

2. Balmori, A. (2009). Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife. *Pathophysiology*. 16(2-3), pp. 191-199.

3. Beaubois, E., Girard, S., Lallechere, S., Davies, E., Paladian, F., Bonnet, P., Ledoigt G., Vian A. (2007). Intercellular communication in plants: evidence for two rapidly transmitted systemic signals generated in response to electromagnetic field stimulation in tomato. *Plant Cell*



Environ. 30(7), pp. 834-844.

4. Belpomme, D., Hardell, L., Belyaev, I., Burgio, E., Carpenter, D.O. (2018). Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. *Environ Pollut.* 242(Pt A), pp. 643-658.

5. Belyaev, I., Dean, A., Eger, H., Hubmann, G., Jandrisovits, R., et al. (2016). EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Rev. Environ. Health.* 31(3), pp. 363-397.

6. Do radio waves from the Sun reach Earth?, [online]. Available at: <https://physics.stackexchange.com/questions/268125/do-radio-waves-from-the-sun-reach-earth>.

7. Friedman, J., Kraus, S., Hauptman, Y., Schiff, Y., Seger, R. (2007). Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *Biochem. J.* 405(3), pp. 559-568.

8. Halgamuge, M.N. (2017). Review: Weak radiofrequency radiation exposure from mobile phone radiation on plants. *Electromagn. Biol. Med.* 36(2), pp. 213-235.

9. Halgamuge, M.N., Yak, S.K., Eberhardt, J.L. (2015). Reduced growth of soybean seedlings after exposure to weak microwave radiation from GSM 900 mobile phone and base station. *Bioelectromagnetics.* 36(2), pp. 87-95.

10. Hussein, R.A. and El-Maghraby, M.A. (2014). Effect of two brands of cell phone on germination rate and seedling of wheat (*Triticum aestivum*). *J. Environ. Pollut. Hum. Health.* 2, pp. 85-90.

11. Karaca, E., Durmaz, B., Aktug, H., Yildiz, T., Guducu, C., et al. (2012). The genotoxic effect of radiofrequency waves on mouse brain. *J. Neurooncol.* 106(1), pp. 53-58.

12. Khan, M.D., Ali, S., Azizullah, A., Shuijin, Z. (2018). Use of various biomarkers to explore the effects of GSM and GSM-like radiations on flowering plants. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 25(25), pp. 24611-24628.

13. Morgan, L.L., Miller, A.B., Sasco, A., Davis, D.L. (2015). Mobile phone radiation causes brain tumors and should be classified as a probable human carcinogen (2A) (review). *Int. J. Oncol.* 46(5), pp. 1865-1871.

14. Roux, D., Vian, A., Girard, S., Bonnet, P., Paladian, F., Davies, E., Ledoigt, G. (2008). High frequency (900 MHz) low amplitude (5 V m⁻¹) electromagnetic field: a genuine environmental stimulus that affects transcription, translation, calcium and energy charge in tomato. *Planta.* 227(4), pp. 883-891.

15. Singh, H.P., Sharma, V.P., Batish, D.R., Kohli, R.K. Cell phone electromagnetic field radiations affect rhizogenesis through impairment of biochemical processes. *Environ. Monit. Assess.* 184(4), pp. 1813-1821.

16. Sharma, V.P., Singh, H.P., Kohli, R.K., Batish, D.R. (2009). Mobile phone radiation inhibits *Vigna radiata* (mung bean) root growth by inducing oxidative stress. *Sci. Total Environ.* 407(21), pp. 5543-5547.

17. Taj, G., Agarwal, P., Grant, M., Kumar, A. (2010). MAPK machinery in plants: Recognition and response to different stresses through multiple signal transduction pathways. *Plant Signal. Behav.* 5(11), pp. 1370-1378.

18. Tkalec, M., Malaric, K., Pevalsek-Kozlina, B. (2005). Influence of 400, 900, and 1900 MHz electromagnetic fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity. *Bioelectromagnetics.* 26(3), pp. 185-193.

19. Tkalec, M., Malaric, K., Pevalsek-Kozlina, B. (2007). Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed *Lemna minor* L. *Sci. Total. Environ.* 388(1-3), pp. 78-89.

20. Vian, A., Davies, E., Gendraud, M., Bonnet, P. (2016). Plant Responses to High Frequency Electromagnetic Fields. *Biomed. Res. Int.* 2016:1830262.

21. Vian, A., Faure, C., Girard, S., Davies, E., Halle, F., Bonnet, P., Ledoigt, G., Paladian, F. (2007). Plants Respond to GSM-Like Radiation. *Plant Signal. Behav.* 2(6), pp. 522-524.

**Abstract.**

Introduction. Radio waves from mobile phones affect the living cell functions, which is a danger to the health of users. The paper explored the possibility of using the Ultimate EMF Detector software for Android mobile phones and phytotest of growth seedlings to establish a safe distance between the consumer and the mobile phone in the standby mode.

Results and Discussion. The Ultimate EMF Detector software and the KKMoon GM 3120 portable electromagnetic field tester detected a dangerous level of radio waves only in the vicinity of the cellphone being tested. Already at a distance of 25 cm from the device, the program registered only the Earth's natural geomagnetic field. Whereas, the analysis of the growth parameters of the roots and epicotyls of barley seedlings with a germination mode of 12 hours light / 12 hours dark showed a statistically significant biological effect of radiation from a mobile phone even at a distance of 2.0 m from the device. The detected growth response was dependent on the distance from the mobile phone and was sinusoidal in nature, which suggests the possibility of the electromagnetic waves resonance from the mobile phone. The dependence of the growth response of model plants on the presence of visible light, revealed in the course of the study, demonstrates the regulatory rather than traumatic influence of radiation from a mobile phone on the development of barley seedlings.

Conclusions. In general, it has been shown that monitoring devices do not allow the safe distance between the mobile phone in the standby mode and the user to be detected, since they do not detect biological effective levels of radio wave radiation, which can cause unintended effects on human health during long-term uncontrolled influences.

Key words: radio waves, mobile phone, safety, biological effects, growth phyttest.

Стаття відправлена: 05.03.2020.

© Кундельчук О.П.,

Гіньковська А.С.,

Семенюк С.К.,

Акімова М.О.



UDC [621.311.25:551.5](569.5)

METEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE BUSHEHR NPP AREA, IRAN**Elokhin A.P. / Елохин А.П.**

ORCID iD: 0000-0002-7682-8504

ResearcherID: G-9573-2017

Alalem E.A. / Ксенофонов А.И.

ORCID iD: 0000-0002-7207-5939

ResearcherID: G-9489-2017

Ksenofontov A.I. / Аллалем Е.А.

ORCID iD: 0000-0002-6864-9805

ResearcherID: H-1833-2017

National Research Nuclear University MEPHI

Moscow Engineering Physics Institute

Национальный исследовательский ядерный университет (НИЯУ МИФИ)

This work addresses the method of assessment of the required and sufficient number of posts of the automated radiation monitoring system (ARMS) in the sanitary protection zone of the second unit of Bushehr NPP in Iran arranged around the NPP and justification of their layout.

The method is based on the data of meteorological observations in the specified region that represent the results of measurement of wind speed and temperature at different heights at the meteorological tower and methods of gradient observations over these characteristics for each month during 2006-2010.

The characteristics obtained allow to calculate atmospheric stability as part of the known model of the ground layer and the meteorological parameters that determine it – air speed, temperature, turbulence diffusion coefficient and turbulent fluctuation energy as functions of height by solving the closed equation system describing the condition of the ground layer.

Specifying meteorological parameters of the atmosphere allows to define a problem of assessing radioactive contamination of environment by solving the equation of turbulence diffusion in the conditions of a hypothetical radiation accident at Bushehr NPP and determine the required and sufficient number of ARMS posts and their layout around the NPP that takes into account the restricted nature of the information as to the radionuclide composition of the radioactive impurity propagating in the atmosphere in case of an accident.

This work may be of interest to nuclear industry workers engaged in the operation of nuclear power plants, research officers of design organizations that design automated systems of ARMS type for enterprises of nuclear, metal and chemical industries, environmental engineers, etc

Keywords: radiation accident, meteorological characteristics, ionization radiation, radioactive contamination of environment, ionizing-radiation detectors, stable and unstable atmosphere.

1. Introduction

The authors of [1] studied the main parameters of the location area of Bushehr NPP in design (unit 1) in Iran with further collation of the data on the main characteristics of the site intended for the nuclear power plant construction. This subject has been evolved in the present work, but the main focus is on the study of meteorological characteristics of the NPP site and justification of the radiation monitoring system through forecasting of radioactive contamination of environment in case of a hypothetical radiation accident.

Modelling the travel of radioactive contamination plays an important role in the design of nuclear facilities (NF), in particular, nuclear power plants. When the degree



of ecological hazard needs to be minimized, it is important to determine the direction of possible travel of contaminants, their density and nature of their propagation in the territory in a timely manner and as precisely as possible.

In the case under consideration, the NF is a stationary object (NPP). Its peculiarity lies in the fact that radionuclides are normally released into the atmosphere at high altitude, which causes the propagation of radiation contamination over vast areas. Gas-aerosol emissions create air-disperse masses in the atmosphere that remain there for a long time as a result of turbulence and are driven out of the plant location to a considerable distance with air currents [2]. The speed and distance of transfer of these masses depend on turbulent flows in the atmosphere, period of their existence in the air, meteorological conditions as well as the speed and direction of atmospheric flows and radionuclide half-life.

The physical aspect of the problem under consideration is related to the analysis of propagation and uptake of radionuclides. However, virtually all the computer models require regular adjustment of certain data based on ecological and meteorological observations.

In the work under study, meteorological parameters were preliminarily measured on a meteorological tower, while the general nature of their dependence as a height function was analyzed based on the solution of a closed equation system of the ground layer of the atmosphere [3].

2. Materials and methods

In order to model a hypothetical accident with radioactivity release into the atmosphere and determine the levels of radioactive contamination of environment and radiation burden on public and staff, an automated radiation monitoring system (ARMS) is intended to be used; its general characteristics are provided in detail in [4-7]. This system is capable of providing current online information about radiation accident progression to all relevant entities for the timely risk assessment and decision-making to mitigate accident consequences.

In line with what was said before, one can assume that ARMS is fitted with relevant devices and equipment intended to gather and process information about radioactive contamination of environment, assess radiation burden on public and staff, transmit processed information to the management for the decision-making in line with the action plan in case of a radiation accident at an NPP [8].

When considering the scenario conditioned by the atmospheric discharge of radioactive gas-aerosol impurities, this work studies the task of assessment of the required and sufficient number of γ radiation detectors deployed in the NPP sanitary protection zone as part of ARMS for the purpose of reliable registration of a radioactive cloud or emission plume transported by the wind in the atmosphere. Mathematical statement of the problem and its solving procedure are provided.

Considering volumetric activity of a gas-aerosol radioactive impurity that contaminates the environment, $q(x, y, z)$ (Ci/m³) as a substance, we obtain the following meteorological parameters of the atmosphere: $u(z)$ – axial air velocity (with zero transverse velocity), $k(z)$ – turbulence diffusion coefficient and $b(z)$ – turbulent fluctuation energy (turbulent vortex energy) determined as part of the ground layer model using the physical and mathematical tools of [3].



$$k(z) = \chi v_* L k_n; \quad u(z) = v_* u_n / \chi; \quad b = v_*^2 c^{-1/2} b_n = 4,6625 v_*^2 b_n, \quad (1)$$

where $z_n = z/L$ is dimensionless height; L is Monin-Obukhov's scale (scale of the surface layer of the atmosphere); b_n is dimensionless turbulent fluctuation energy; c is a constant; u_n is dimensionless wind speed; v_* is dynamic velocity; $\chi = 0.4$ is Karman's constant; θ is potential temperature $\theta = T(1000/P)^{0.29}$ (T is temperature °K; P is atmospheric pressure, mbar; θ_n is its dimensionless value $\theta_n = -\chi \theta / \theta_*$, $\theta_* = P_0 / (\rho c_p v_*)$, P_0 is heat flow, ρ is air density, c_p is specific heat); $\alpha_T = k_T/k$ is turbulence factor ratio for heat and quantity of motion.

$$z_n = 2/y - 2y^3/3 - 4/3; \quad (2)$$

$$k_n = 1 - y^4, \quad (3)$$

where y is a tabulated value for various z_n . The following expressions are obtained for dimensionless u_n , b_n :

$$u_n = 2/y + 2 \arctg(y) + \ln \frac{|1-y|}{1+y} + c_1; \quad (4)$$

$$b_n = y^2; \quad (5)$$

$$\theta_n = \int_{z_{0n}}^{z_n} \frac{dz_n}{\alpha_T k_n}; \quad (6)$$

$$L = -\frac{v_*}{\chi(g/T_0)(P_0/\rho c_p)}, \quad (7)$$

where g is gravitational acceleration; T_0 is temperature at the ground level. The equation (2) with regard to y has Ferrari analytical solution and depends on z_n as follows [6,7]:

$$y = \begin{cases} \frac{-\sqrt{A+B} + \sqrt{(A+B) - 4 \left[\frac{A+B}{2} - \sqrt{\left(\frac{A+B}{2} \right)^2 + 3} \right]}}{2}; & z_n \geq -4/3; \\ \frac{\sqrt{A+B} + \sqrt{(A+B) - 4 \left[\frac{A+B}{2} - \sqrt{\left(\frac{A+B}{2} \right)^2 + 3} \right]}}{2}; & z_n \leq -4/3, \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{where } A = \sqrt[3]{\frac{(2+1,5z_n)^2}{2} + \sqrt{64 + \frac{(2+1,5z_n)^4}{4}}}; \quad B = \sqrt[3]{\frac{(2+1,5z_n)^2}{2} - \sqrt{64 + \frac{(2+1,5z_n)^4}{4}}}.$$

Dependences of the ground wind speed $u(z)$, turbulence diffusion factor $k(z)$ and turbulent fluctuation energy $b(z)$ as functions of height z as part of the surface layer model may be successfully obtained if the following surface layer parameters are known: v_* and L . The latter values are obtained using the method of gradient observations of wind speed and temperature as follows [3,6-7]. Wind speed and temperature are measured at two levels, for example, $z_1 = 2H$, $z_2 = 0.5H$ ($H = 1$ m). Differences $Du = u(z_1) - u(z_2)$; $D\theta = \theta(z_1) - \theta(z_2)$ are obtained. $P_0/\rho c_p = -\chi v_* D\theta/D\theta_n$;



is obtained using the formula (7) and expression for wind speed and temperature by means of dimensionless values;

$$Du = v_* Du_n / \chi; (Du/Du_n)^2 = (g/T_0)L(D\theta/D\theta_n) \quad (9)$$

where u_n ; θ_n are tabulated values of the universal functions calculated for various z_n ($z_n = z/L$) [3], Du_n ; $D\theta_n$ is their difference. Since Du ; $D\theta$ are measurable values and Du_n ; $D\theta_n$ depend on the scale of Monin-Obukhov L , the expression (9) is explicit and implicit function L . To obtain L , a certain value $L_{\max}$ is set and varied, for example, $L_i = DL \times i$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$; $DL = L_{\max}/N$ until the difference ξ or relative error ε is minimal (within the range $\varepsilon \rightarrow 0$, see fig. 1).

$$\xi = \left| \left(\frac{Du}{Du_n} \right)^2 - \frac{g}{T_0} L \frac{D\theta}{D\theta_n} \right|, \quad \varepsilon = \left| \frac{(Du/Du_n)^2 - (gL/T_0)(D\theta/D\theta_n)}{(Du/Du_n)^2} \right| 100\% \quad (10)$$

The obtained value L^* , with which Σ is minimal, will determine the target value L : $L^* = DL \times i^*$. By determining the scale of Monin-Obukhov L and recalculating z_n with fixed z_1 and z_2 , i.e. by recalculating $D\theta_n$; Du_n , we will obtain v_* :

$$v'_* = \chi \frac{Du}{Du_n} \quad (11)$$

or

$$v''_* = \chi \sqrt{(gL/T_0)(D\theta/D\theta_n)}. \quad (12)$$

When $\varepsilon \rightarrow 0$, $v'_* \rightarrow v''_*$. The method considered is more feasible when meteorological parameters are calculated on a computer. It should be noted that presenting ε as dependencies (11) and (12), in fact, allows to obtain the scale of the surface layer L as the expression (10). Since parameter L may be both $L > 0$ and $L < 0$ (with $L = 0$, the mode of motion loses its turbulent nature [3]), all possible variations of L_i have to follow the formula: $L_i = DL(N + 1 - i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, N, N+1, N+2, \dots, 2N+1$. The latter allows to consider various atmospheric layer stratifications set by temperature conditions. It is feasible to use the analytical value y as function z_n determined by the formula (8) instead of tables to calculate $u_n(z_n)$, $k_n(z_n)$ after L has been obtained and the following expressions should be used to estimate the difference of dimensionless air speed and temperature according to this type of dependencies determined by the formulas (4), (6):

$$Du_n = u_n(z_{1n}) - u_n(z_{2n}) = 2 \left(\frac{y(z_{2n}) - y(z_{1n})}{y(z_{2n})y(z_{1n})} \right) + 2(\arctg(y(z_{1n})) - \arctg(y(z_{2n}))) + \ln \left(\frac{|1 - y(z_{1n})|}{|1 - y(z_{2n})|} \frac{1 + y(z_{2n})}{1 + y(z_{1n})} \right),$$

$$D\theta_n = \int_{z_{2n}}^{z_{1n}} \frac{1}{\alpha_T(z_n)[1 - (y(z_n))^4]} dz_n.$$

The choice of u_n , z_n according to the set z_n is made as follows: the known z_n is used to obtain y , for which the values corresponding to u_n or z_n are obtained using the table. Values for these functions for a different value z_n (another level) are obtained the same way, after which differences Δu_n , $\Delta \theta_n$ are calculated. Once parameters L , v_* have been determined, values $u(z)$, $k(z)$ are obtained by the formulas (1). Constant c_1 in (4) is obtained with $z = z_0$ and $u(z)|_{z=z_0} = 0$.

In order to determine the dependence of atmosphere meteorological parameters such as ground wind speed $u(z)$ and turbulence diffusion coefficient $k(z)$ as functions



of height above the underlying surface (z), the parameters obtained from a meteorological tower located at a distance of about 100 km from the NPP industrial site were used. The meteorological data of temperature, pressure, speed and wind direction collected from two levels were averaged monthly.

Table 1													
Characteristics of the lower 100 meter atmospheric layer according to tower measurements in 2006 – 2010 [9]													
Months													
Height, m	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Air temperature, °C													
10	12,3	16,9	20,5	25,6	30,7	32,6	33,7	33,9	31,9	28,0	21,8	19,9	26,7
45	12,7	16,6	20,9	26,0	30,8	32,3	33,6	33,9	32,3	238,9	22,6	21,7	27,0
80	13,0	16,9	21,6	26,6	31,4	32,8	33,9	34,0	32,5	29,2	23,0	22,0	27,4
100	13,1	16,9	21,9	26,8	31,6	32,8	33,9	33,7	32,1	28,8	23,1	21,8	27,3
Wind speed, m/s													
10	3,0	2,8	3,2	3,3	3,2	3,6	3,3	2,7	2,7	2,5	3,0	2,9	3,0
45	5,0	5,0	5,0	4,9	4,7	5,0	4,6	3,7	3,9	3,7	4,9	4,5	4,5
80	6,0	6,0	6,0	5,6	5,5	5,8	5,2	3,9	4,3	4,1	5,8	5,1	5,1
100	6,4	6,5	6,5	6,0	6,0	6,4	5,7	4,1	4,5	4,3	6,2	5,4	5,5

The averaged meteorological data with regard to this distribution and estimated minimum and maximum values are presented in table 1. The air temperature values on the level of the underlying surface in point $z = z_0$ were obtained by way of its extrapolation requiring continuity of the derivative that ensures a “smooth” curve based on the meteorological data obtained from the meteorological tower and smoothed with splines. The meteorological parameters were calculated for the most typical meteorological conditions from those specified in the table of seasons, namely, for January (I), February (II), March (III), July (VII) and August (VIII) [9].

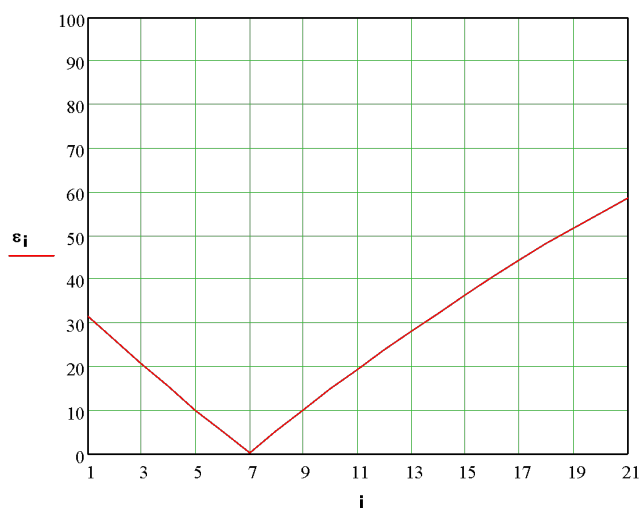


Fig. 1. Value of the index i , with which the minimum relative error ε_i is observed (February)

The minimum relative error $\varepsilon(i)$ determined during the calculation was used to obtain extreme values of index i , with which the minimum ε_i used for the subsequent calculation of the scale of Monin-Obukhov L is observed. The values v_* obtained by the formula (11) enabled calculation by the formulas (1) of air speed $u(z)$, turbulence

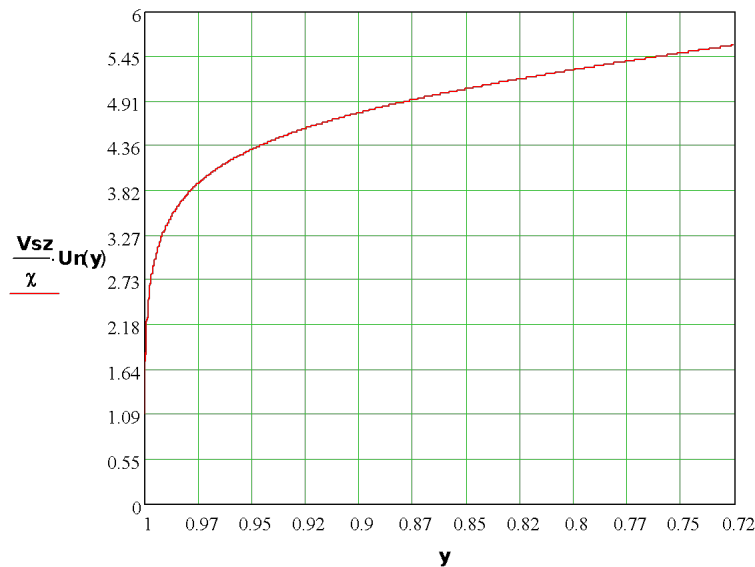
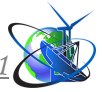


Fig. 2. Wind speed distribution with the stable atmosphere (authors' calculation) characterized by parameters $L = 85$ m; $v^* = 0.229$ ($y = 1 \rightarrow z = 0$; $y = 0.72 \rightarrow z = 100$ m (February)

diffusion coefficient $k(z)$ and turbulent fluctuation energy $b(z)$ that are shown in the corresponding figures for each of the specified months. Analysis of the dependence shown in fig. 1 shows that when the index i increases, the relative error $\varepsilon(i)$ drops to zero with certain $i^* = 7$, thus determining $L_i^* = \Delta L \cdot i^*$, and then rises sharply again determining the solution divergence.

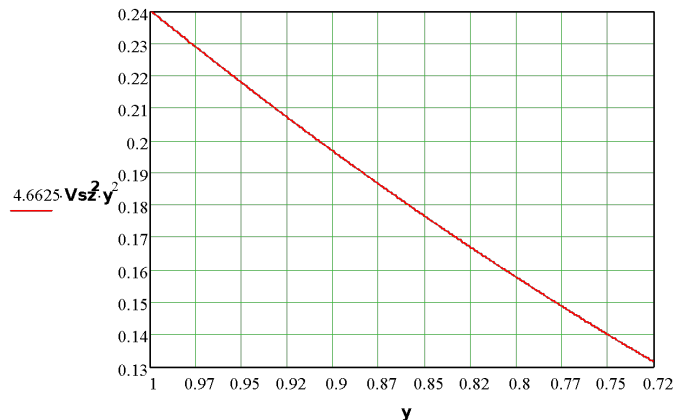


Fig. 3. Dependence of the turbulence coefficient $k(z)$ for the stable atmosphere $L = 85$; $v^* = 0.229$ (February)

This nature of dependence $\varepsilon(i)$ is true for almost all the seasons. Fig. 2 shows the dependence of wind distribution $U_n(y)$ as function y (height z) considering that the dependence $y(z_n)$ is determined by the formula (8). Fig. 3 shows the dependence of turbulence diffusion coefficient $k(y)$ and fig. 4 shows the dependence on turbulent fluctuation energy $b(y)$. Similar characteristics for January, March, July and August are provided in the Annex. The analysis of the values of the ground layer scale (parameter of Monin-Obukhov) L obtained during the calculation allowed to conclude that Fig. 1. Value of the index i , with which the minimum relative error ε_i is observed (February) the air condition in the Bushehr NPP area is generally variable, i.e. it varies from stable ($L = 85$) to medium unstable ($L = -8.0$). In particular, this is



evidenced by seasonal variations of the wind speed and temperature range. The nature of the obtained dependencies of the wind speed $u(z)$ (see fig. 2) and turbulence diffusion coefficient $k(z)$ (see fig. 3) as functions of height z for the stable atmosphere correlates well to the reference data for the specified dependencies with the appropriate air condition [3,6-7,10], which allows to acknowledge that the calculations were performed correctly.

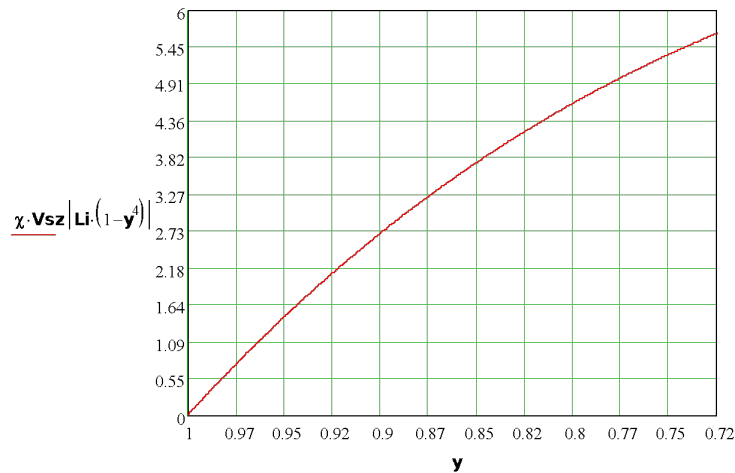


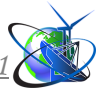
Fig. 4. Dependence of the turbulent fluctuation energy $b(z)$ for the stable atmosphere $L = 85$; $v^* = 0.229$ (February)

Speaking of correctness of calculations, it is feasible to specify differences in the behavior of the functions under consideration with the stable and unstable atmosphere. An essential feature of the stable and unstable atmosphere is a difference between dependencies of the airflow wind profile and turbulence diffusion coefficient as functions of height z with both air conditions. An increase in the air speed with height and a low turbulence diffusion coefficient are typical of the stable atmosphere. The unstable atmosphere gives a different picture – weak change of the air speed $u(z)$ with height and considerable increase in the turbulence diffusion coefficient $k(z)$. The stable and unstable atmosphere brings about different nature of the turbulent fluctuation energy dependence: with the stable condition, the dependence $b(z)$ decreases with the increasing height z , and it goes down with the unstable condition. Averaged values of these parameters, including the ground layer scale of Monin-Obukhov L and dynamic velocity V^* are presented in table 2.

Table 2

Averaged characteristics of atmosphere meteorological					
Month	U_{av} m/s	K_{av} m ² /a	b_{av} m ² /s ²	L , m	V^*
January	4.87	2.88	0.169	62.5	0.23
February	4.814	3.266	0.183	85	0.229
March	4.814	3.266	0.183	85	0.229
July	4.815	14.187	1.643	-5.556	0.288
August	3.341	8.895	0.577	-8.667	0.198

Radioactive impurity atmospheric transfer is calculated using the turbulence diffusion coefficient assuming that the impurity is washed out along the Y axis according to Gauss' Law. Thus, activity concentration of the impurity is determined by the following expression:



$$q(x, y, z) = \frac{S(x, z)}{\sqrt{2\pi}\sigma_y(x)} \exp(-y^2/2\sigma_y^2) \quad (13)$$

where $\sigma_y(x)$ is a mean-square deviation; $S(x, z)$ function is expressed as follows:

$$S(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} q(x, y, z) dy = 2 \int_0^{+\infty} q(x, y, z) dy. \quad (14)$$

Thus, the following equation is obtained for the gas-aerosol impurity volume concentration:

$$u \frac{\partial S}{\partial x} - w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(z) \frac{\partial S}{\partial z} \right] - \sigma S + \varphi, \quad (15)$$

where $\varphi(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) dy = M\delta(x)\delta(z - h_{\text{ef}})$; $f = M\delta(x)\delta(y)\delta(z - h_{\text{ef}})$ is the source of the gas-aerosol impurity that pollutes the environment; M is emission efficiency (Bq/s); h_{ef} is effective emission height; σ is constant relaxation of the gas-aerosol impurity that represents the impurity atmospheric washout constant σ_0 (s^{-1}), so that $\sigma = \sigma_0$; w is the gravitational impurity deposition rate. As part of the transfer model under consideration, the value $\sigma_y^2(x)$ is presented as: $\sigma_y^2(x) = \bar{b}x^2/\bar{u}^2(1 + \alpha x\bar{b}/\bar{k}\bar{u})$, where $\bar{b}$, $\bar{k}$, $\bar{u}$ are averaged by the ground layer with height $H_{\text{lim}} \approx 100$ m with a weight of $S(x, z)$ values of turbulent fluctuation energy $b(z)$, turbulence diffusion coefficient $k(z)$ and wind speed $u(z)$, $\alpha = 0,015$.

$$\bar{b} = \frac{\int_0^{H_{\text{lim}}} b(z) \left(\int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}{\int_0^{H_{\text{lim}}} \left(\int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}; \quad \bar{k} = \frac{\int_0^{H_{\text{lim}}} k(z) \left(\int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}{\int_0^{H_{\text{lim}}} \left(\int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}; \quad \bar{u} = \frac{\int_0^{H_{\text{lim}}} u(z) \left(\int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}{\int_0^{H_{\text{lim}}} \left(\int_0^{\infty} S(x, z) dx \right) dz}.$$

Boundary conditions are expressed as follows:

$$S(x, z)|_{x=0} = 0; \quad (16)$$

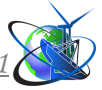
$$S(x, z)|_{x \rightarrow \infty} = 0; \quad (17)$$

$$S(x, z)|_{z \rightarrow \infty} = 0; \quad (18)$$

$$k \frac{\partial S}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = (\beta - w)S|_{z=z_0}, \quad (19)$$

where β is the speed of dry deposition of the gas-aerosol impurity on the underlying surface; z_0 is the roughness factor of the underlying surface. The analytical solution of this partial problem (15) – (19) is expressed as (20); activity concentration of the gas aerosol radioactive impurity propagating in the air is calculated by the formula (13).

$$S(x, z) = \frac{M}{2} \exp \left(- \left[\frac{\sigma_0 x}{\bar{u}} + \frac{w^2 x}{4\bar{k}\bar{u}} + \frac{w(z - h_{\text{ef}})}{2\bar{k}} \right] \right) \left\{ \frac{\exp(-[z + h_{\text{ef}}]^2 \bar{u}/4\bar{k}x) + \exp(-[z - h_{\text{ef}}]^2 \bar{u}/4\bar{k}x)}{\sqrt{\pi \bar{k} \bar{u} x}} - \frac{(2\beta - w) \exp \left[- \frac{(2\beta - w)(z + h_{\text{ef}})}{2\bar{k}} + \left(\frac{2\beta - w}{2\bar{k}} \right)^2 \frac{\bar{k}x}{\bar{u}} \right]}{\bar{k}\bar{u}} \times \right. \\ \left. \times \operatorname{erfc} \left[\left(\frac{2\beta - w}{2\bar{k}} \right) \sqrt{\bar{k}x/\bar{u}} + \frac{(z + h_{\text{ef}})}{2\sqrt{\bar{k}x/\bar{u}}} \right] \right\}, \quad (20)$$



3. Results

The results of calculations of the specified dependencies $u(z)$, $k(z)$ and $b(z)$ as functions of height above the underlying surface and their averaged values allow to obtain axial and transverse distributions of activity concentration depending on the stability of the ground layer and present its general nature. The dependency given in fig. 5 gives visual presentation of the general nature of the activity concentration distribution described by formulas (13), (20). Unfortunately, the distribution accuracy is not always high enough as a number of parameters describing the distribution function $S(x, z)$ (see the expression (20)) and dispersion $\sigma_y(x)$ contains the data obtained experimentally, i.e. with a certain error. The latter may result in the precision of estimate at the distances starting from 10 km to the emission source exceeding the order of magnitude under consideration [11]. This is why in case of radiation accidents, one has to, wherever possible, specify atmospheric stability using more reliable measurement methods and to use unmanned aerial vehicles for dosimetry monitoring of unmanned radiation monitoring complex (URMC) type [6] that enable online dosimetry and radiometric monitoring of the air basin and underlying surface.

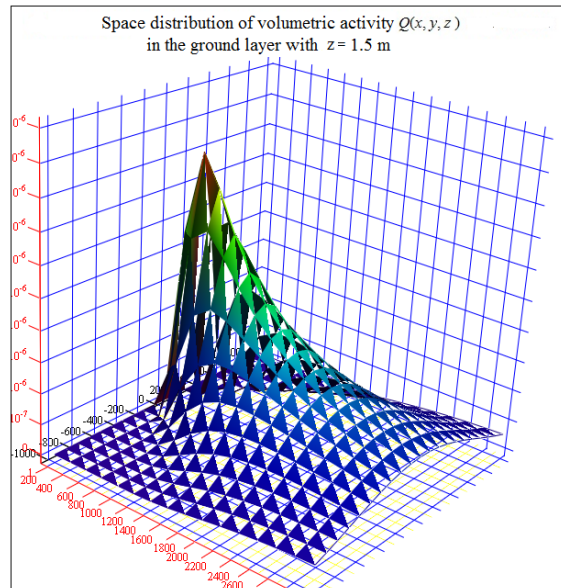


Fig .5. Distribution of activity of gas-aerosol radioactive impurity as function x, y with $z = 1,5$ m

The value of activity concentration and the nature of its atmospheric distribution allows to estimate the dose rate of a volume source and surface contamination of the underlying surface using integral methods [12] or Monte-Carlo method [13-16] near the emission source or, if activity values have been measured, obtain these estimates as part of the radial balance concept [17] in the territory located at a distance of 700 to 10,000 m [6,7] to the source.

As part of the task under consideration, fig. 6 presents the results of calculation of axial distribution of the radioactive impurity for the atmospheric stability values obtained and fig. 8 gives the results of calculations of transverse distribution of the radioactive impurity at the border of a sanitary protection zone (SPZ) with radius $R_0 = 1,200$ m. This distribution may be used to assess the required and sufficient number

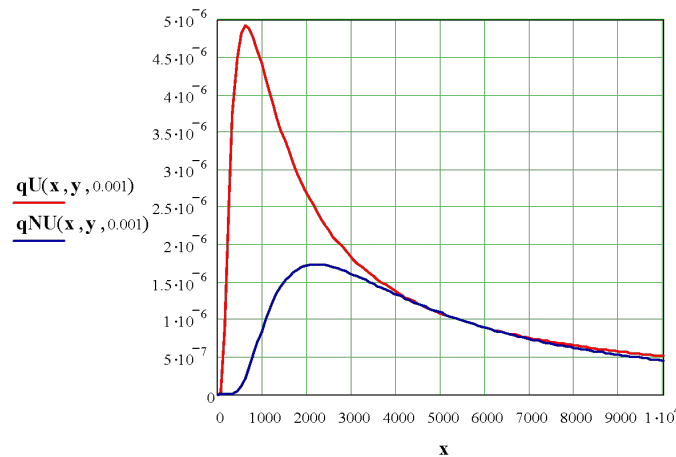
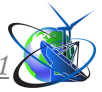


Fig. 6. Axial distributions of activity emissions $q(x, y = 0, z = 1.5)$ of the gas-aerosol radioactive impurity with the unstable atmosphere (shown in red) and with the stable atmosphere (shown in blue) (February)

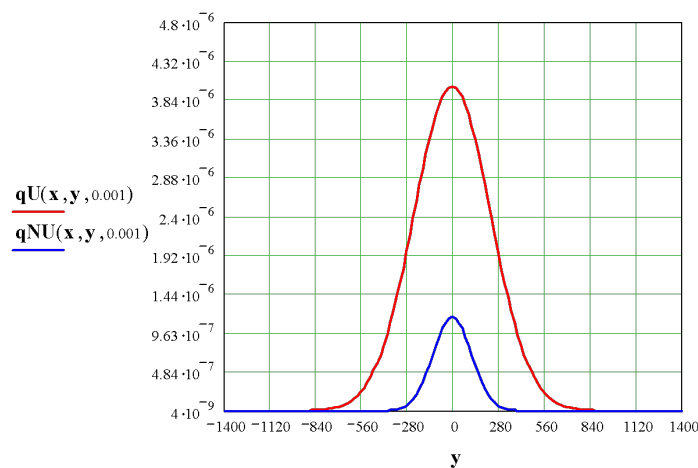


Fig. 7. Transverse distribution of activity $q(x, y = 0, z = 1.5)$ of the gas-aerosol radioactive impurity with the unstable atmosphere (shown in red) and with the stable atmosphere (shown in blue) at a distance to the source of $x = 1,200$ m (February)

of the control posts arranged around the NPP as follows. According to the regulatory document [18] (see table 3.1 of the mentioned document), the established annual dose for the population at the border of the NPP SPZ is 5 mSv. This dose will be determined by the dose rate of $0.57 \mu\text{Sv/h}$ or $57 \mu\text{R/h}$. Considering that the maximum of one or another distribution provided in fig. 7 matches this value and the ultimate sensitivity of a standard γ detector is $P_{thr} = 10 \mu\text{R/r}$, we will use linear interpolation for each of the given dependencies to find that the value P_{thr} for the unstable atmosphere may be recorded at a distance of $\delta_{uns} = 420$ m to the emission axis, and for the stable – $\delta_{stb} = 224$ m. Next, to assess the required and sufficient number of the sensors arranged around the NPP, let us use the illustration shown in fig. 8.

We will use the value δ to determine the distance, at which the γ detector records P_{thr} from the gas-aerosol impurity, the transverse distribution of which is described by one or another curve in fig. 7 typical of one or another air condition to



find the length of the arc l intercepted on the circle of radius R_0 with a sector, the tangent of which equals (δ/R_0) . The arc length is calculated by a simple formula [19, 20]:

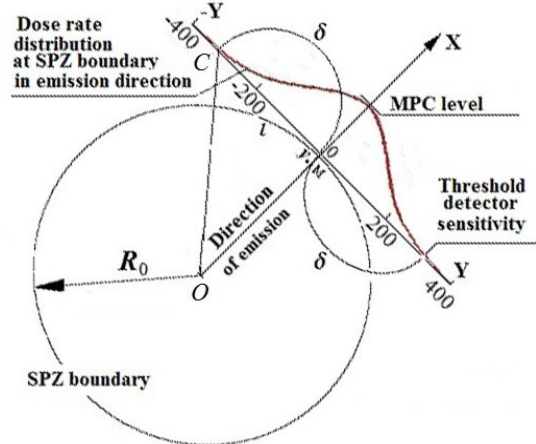


Fig. 8. Illustration of the choice of the optimal number of ARMS sensors. Axis X0Y at the SPZ border shows, in the direction of emission, the transverse distribution of the dose rate created by the gas-aerosol radioactive impurity. R_0 is SPZ radius [19]

$$l = R_0 \arctg\left(\frac{\delta}{R_0}\right). \quad (21)$$

The required number of the sensors arranged around the NPP with the stable or unstable atmosphere assuming that any azimuth direction of emission from 2π is equally possible, ignoring the fixed point part, will be obtained as the ratio

$$N_n = \pi R_0 / l = \pi / \arctg(\delta / R_0), \quad (22)$$

and the minimum sufficient number is $N_{en} = N_{nec} + 1$.

By substituting the relevant values δ for the stable and unstable atmosphere, we will obtain: $N_{en,uns} = 10$, $N_{en,stab} = 18$. Choosing the worst option, one may state that the minimum sufficient number of control posts for Bushehr NPP is 18. The model that assessed the number of posts assumes their deployment along the SPZ perimeter evenly distributed in azimuth.

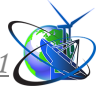
4. Discussion

Economical, ecological and demographic requirements are imposed to the deployment of control posts in SPZ [19, 20].

Economic requirements are limited to the restriction of a number of posts (sensors), which is conditioned by the high cost of communications lines, equipment (sensors, information transmission units, PC systems), operational staff salary, social needs, etc.

Ecological requirements are limited to the assurance of a high degree of awareness of the levels of environmental contamination with any direction of emission, which may be ensured by increasing the number of control posts at the industrial site and in the SPZ [21].

Demographic requirements are determined by the population size criterion: control post point combined with a public information display that shows current time, pressure, air temperature, moisture content and contamination. It is feasible to install it in a locality with at least N residents, where N value is subject both to social and



economic conditions of the locality's population (posts in localities are installed at the expense of the municipal government) and residents' willingness to obtain the information about environmental contamination levels. The discrepancy between economical and ecological criteria brings about the need to optimize the number of the sensors arranged around the NPP. This optimization is found to be possible when the relevant physical and mathematical tools presented above are used. However, apart from determining the best number of sensors, ARMS also has to meet certain reliability criteria of the entire system, which leads to the need to increase their number within the SPZ, for example, by redundant use of some sensors.

Apparently, when radiation monitoring posts were arranged during the commissioning of Unit 1 of Bushehr NPP shown in fig. 9 [9], demographic criteria were mostly considered as the posts are represented only with the localities with distances to the NPP ranging from 1,600 m (Marvarid) to 59,460 m (Hadakan).

This does not enable the use of the results of measurements of the background radiation recorded by relevant detectors for the adjustment of forecast estimates of environmental radioactive contamination in case of a radiation accident at Bushehr NPP. It is needless to say about even azimuth distribution as it does not exist at all. Orography of the underlying surface (relief of the ground) varies significantly, which imposes very strict requirements to the software used for forecasting of environmental

radioactive contamination in case of a radiation accident.

Thus, in case of a radiation accident at Bushehr NPP, the system of radiation monitoring posts shown in fig. 9 cannot be used to adjust forecast estimates for their specification, which implies extreme limitation of the ARMS system with this method of arrangement of radiation monitoring posts.

The above layout of control posts in the SPZ (evenly in azimuth and along the SPZ border perimeter) is feasible provided only that impurities are emitted from the NPP vent stacks in normal operation or in case of an accident. In this case, the most important emission parameters such as initial temperature T_0 and pressure P_0 of the jet, emission efficiency P_e , nuclide composition of impurities or spectral inventory of γ -radiation may be measured by special sensors or their aggregate installed in the vent stack orifice.

The situation is different in case of unauthorized emission of impurities as an overheated gas jet from openings, valves, leaking vessels, torn holes or cracks resulting from explosion or break of pressurized vessels under high temperature [6,7,21,22]. In this case, it is almost impossible to experimentally determine parameters of the jet emitted from openings or activity concentration of impurities or their radiative properties as neither the spectrum nor medium energy of γ -radiation is known. Eventually, it is impossible to determine the scale of radioactive contamination of environment and assess its ecological consequences as such accidents are extremely rare and unpredictable. Development of the general-purpose hardware that could be used to determine such parameters and characteristics in any situation is almost impossible and may also result in dramatic increase in the cost of NPP.

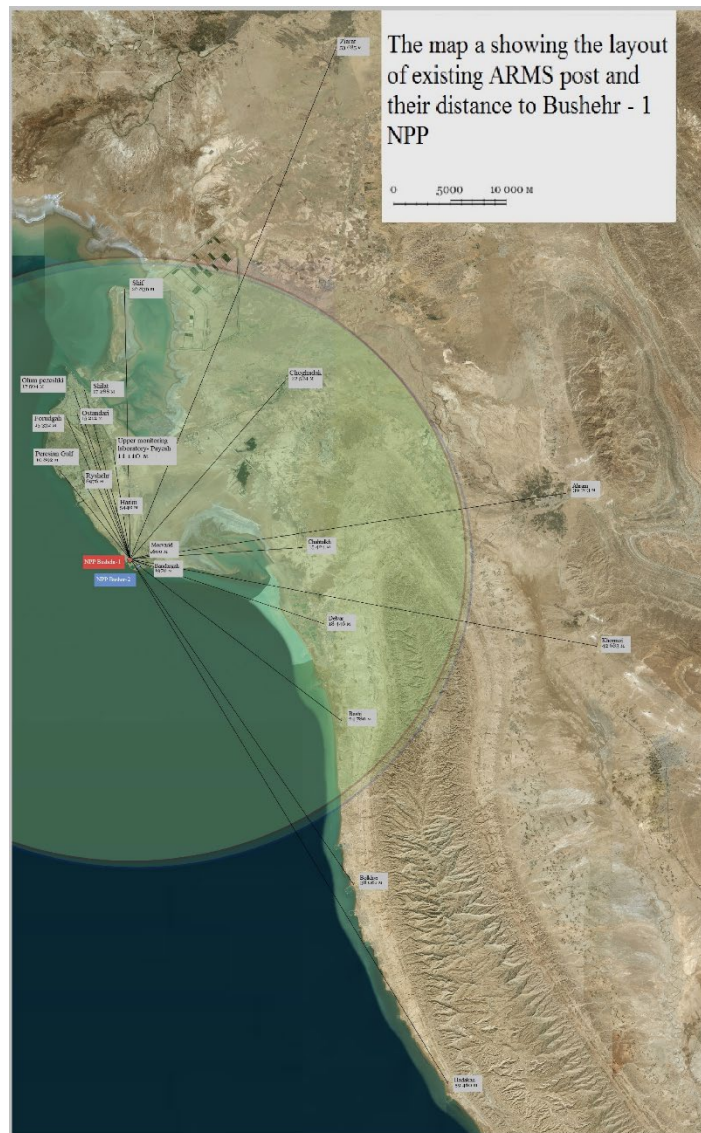
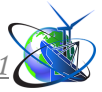


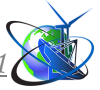
Fig. 9. Layout of ARMS posts at Bushehr NPP, unit 1 [9]

Nevertheless, radioactive contamination of environment in case of a major non-stationary pulsed emission of impurities through openings may be successfully assessed using readings of the process sensors installed in vessels that record the ambient temperature and pressure and readings of the ARMS sensors that determine the rate of external exposure from a radioactive cloud resulting from the emission. This said, the arrangement of sensors at the industrial site (IS) and in SPZ has to follow a certain rule, according to which the distance from a possible source of radiation hazard (NPP) to any sensor has to be strictly different [11, 21-23].

To assure oneself of it, it suffices to examine, in the general case, the expression for the dose rate at points $P_{ijk} = P(x_i, y_j, z_k)$ situated on the underlying surface from a volume source (cloud) with activity concentration distributed in it $q(x, y, z)$:

$$D'_{i,j,k} = D'(x_i, y_j, z_k) = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \alpha(E) \mu_a(E) \varphi(E) E \int_V q(x, y, z) [B(E, R)/R^2] \exp[-\mu(E)R] dV dE, \quad (23)$$

where $\alpha(E)$ is the dependence of detector sensitivity on the energy of γ -radiation of impurities in the cloud; $\mu_a(E)$, $\mu(E)$ is the coefficient of true absorption and linear attenuation of γ -radiation in the air, correspondingly; $B(E, R) = 1 +$



$a(E)\mu(E)R\exp[b(E)\mu(E)R]$ is the concentration factor; $a(E)$, $b(E)$ are known energy functions [24]; $\varphi(E)$ is the differential spectrum of γ -radiation of impurities to be determined; $R = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_j)^2 + (z-z_k)^2}$; x , y , z are current coordinates; x_i , y_j , z_k are coordinates of ARMS sensors; V is the integration domain and $dv = dxdydz$.

Assuming short duration of the emission, one may ignore its offset in relation to the reference axis. The requirement of short duration greatly simplifies the method of assessment of the dose rate created by the cloud, while assessing the dose rate in the dynamic propagation mode implies consideration of not only cloud deformation, but also meteorological factors of the atmosphere, especially underlying surface, etc.

We will determine the coordinates of the cloud's center of mass as follows:

$$x_0 = \int_V xq(x,y,z)dv/Q_v; \quad y_0 = \int_V yq(x,y,z)dv/Q_v; \quad z_0 = \int_V zq(x,y,z)dv/Q_v; \quad Q_v = \int_V q(x,y,z)dv.$$

Assuming that the distance from the point of the center of mass to any ARMS control post

$$R_{i,j,k} = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_j)^2 + (z_0 - z_k)^2}$$

is much bigger than a typical cloud size, we will present volumetric activity $q(x, y, z)$ as

$$q(x,y,z) = Q_v \delta(x-x_0) \delta(y-y_0) \delta(z-z_0), \quad (24)$$

where $\delta(x)$ is delta function. By making integration by volume with $q(x, y, z)$ of type (24) in the equation (23), we will obtain as follows:

$$D'(R_{i,j,k}) = Q_v \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} a(E) \mu_a(E) [B(E, R_{i,j,k}) / R_{i,j,k}^2] \exp[-\mu(E)R_{i,j,k}] \varphi(E) E dE, \quad (25)$$

where $i = 1, 2, 3, \dots, N_{en}$; N_{en} is the sufficient number of ARMS sensors. The equation (25) in relation to $\varphi(E)$ represents a Fredholm equation of the first kind and is classified as an incorrect problem with the set measuring accuracy of sensors. A non-trivial solution of the equation (25) is possible if $R_{ijk} \equiv R_i$: $R_i \neq R_{i+1} \neq R_{i+2} \neq \dots \neq R_{N_{en}}$; $i = 1, 2, \dots, N_{en}$.

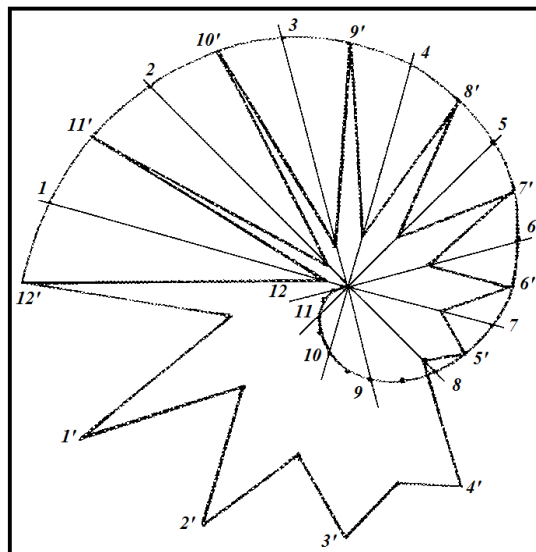
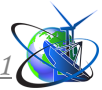


Рис.10. Principle of arrangement of control posts in SPZ [22]



The equation is solved by substituting $\varphi(E)$ with a group spectrum, approximation of the integral with the finite sum. Thus, with different i , the problem is reduced to a system of linear algebraic equations, i.e. a system of the type [6, 7] is solved:

$$\hat{A}\vec{\varphi} = \vec{D}, \quad (26)$$

where $\hat{A}$ is matrix $N_{en} \times M$ ($N_{en} > M$) with a matrix element equal to

$$a_{i,j} = a(E_j) \mu_a(E_j) \{1 + a(E_j) \mu(E_j) R_i \exp[b(E_j) \mu(E_j) R_j]\} \exp[-\mu(E_j) R_i] E_j \Delta E,$$

$\vec{\varphi}$ is a vector of the desired solution with components $\varphi_j, j = 1, 2, 3, \dots, M$; $\vec{D}$ is the set vector of measurement results with components $D_i = D(R_i) R_i^2 / Q_V, i = 1, 2, 3, \dots, N_{en}$.

Table 3

Comparison of initial φ_{apr} and reconstructed spectra [6, 7]				
Energy E_j (MeV)	A priori φ_j	φ_j , calculated by the method of		
		Fabian H.U.	A.N. Tikhonov	Inverse matrix
0.37	1.768	1.784	1.851	-0.088
0.748	0.503	0.731	0.671	0.0
1.1216	0.328	0.149	0.137	-0.802
1.496	$7.36 \cdot 10^{-2}$	$1.56 \cdot 10^{-2}$	$1.45 \cdot 10^{-2}$	$-1.1 \cdot 10^{-3}$
1.87	$9.6 \cdot 10^{-4}$	$2.28 \cdot 10^{-4}$	$2.13 \cdot 10^{-4}$	2.8434

The so-called “paper experiment” method is used to verify φ_j calculation methods: the initial spectrum $\varphi_{apr}(E)$ is set; next, the equation (25) is used to obtain the values $D(R_i)$ that are distorted within the bounds of error of actual sensor readings (15-25%), after which the inverse problem of φ_j determination is solved. It follows from the results of solving the equation (26) presented in table 3 that the initial and reconstructed spectra satisfactorily conform. In addition to the satisfactory solutions, it also gives the solution of a system of linear algebraic equations obtained by way of trivial matrix inversion (unsatisfactory solution): $\vec{\varphi} = (\hat{A}^* \cdot \hat{A})^{-1} \vec{b}$, where $\hat{A}^*$ is an adjoint matrix $\hat{A}$; $(\hat{A}^* \cdot \hat{A})^{-1}$ is an inverse matrix with the size of $M \times M$; $\vec{b} = \hat{A}^* \cdot \vec{D}$ is a vector.

The condition ($R_{ijk} \neq R_i; R_i \neq R_{i+1} \neq R_{i+2} \neq \dots \neq R_{N_{en}}; i = 1, 2, \dots, N_{en}$) imposes certain requirements on the arrangement of control posts: dose rate sensors (ARMS) should not have axial and central symmetry because otherwise, the number of equations (25) or (26) that differ in their right side will be reduced by 2 or 4 times (in case of axial symmetry) or will result in total degeneracy of the system of linear algebraic equations (if sensors are arranged along the SPZ perimeter, i.e. in case of central symmetry). Besides, as we already said, the arrangement of sensors along the perimeter of the zone enables reliably registration of an emission plume or cloud propagation with any wind direction.

The result of consideration of these two contradictory requirements is that R_i of control post must increase with an increase in the azimuth angle calculated from any direction (for example, Archimedean spiral). These line charts are shown in fig. 10



and they represent either a smooth curve, for which R_i is an angle function, $R_i = R_0\theta_i$, $\theta_i = i\Delta\theta$; $i = 1, 2, \dots, N_{en}$; $0 \leq \theta \leq 2\pi$; $\Delta\theta = 2\pi/N_{en}$, or a multipath star [6].

Table 4

Comparison of initial ϕ_{apr} and reconstructed spectra [6]								
Index j	Spectrum $\phi(E_j)$							
	Energy E_j , MeV	Apriori ϕ_j	Calculated by the method of					
			E_{av} , MeV	Y.Su	E_{av} , MeV	N. Scofield	E_{av} , MeV	Inverse matrix method
1	0.25	2.359	0.458	1.722	0.460	1.573	0.457	19.285
2	0.364	1.618		1.070		1.332		-33.735
3	0.497	1.178		1.269		1.123		28.269
4	0.605	0.638		0.939		0.972		-8.819

A similar problem was also solved for the most realistic source of radioactive contamination of environment which is an emission plume, the emission pattern of which is shown in fig. 11, on which the sensors were also arranged around NF by the Archimedean spiral [6]. In this case, the emission plume was presented as a line source with uneven density of distribution, on which the center of mass was located. This yielded a similar equation, but with a more complex nucleus. The equation was solved

the same way. Table 4 provides the results of the solution.

Fig. 12 shows the results of calculations of photon emission spectrum reconstruction by the method of N. Scofield. Spectrum bar charts are as follows: 1 – initial $\phi(E)_{apr}$ ($E_{av} = 0.497$ MeV); 2 – reconstructed by the method of N. Scofield (a is an increasing spectrum, $E_{av} = 0.5104$ MeV, 500 iterations); (b is a “curved” spectrum, $E_{av} = 0.4939$ MeV, 2,500 iterations); (c is a decreasing spectrum, $E_{av} = 0.3519$ MeV, 12,500 iterations).

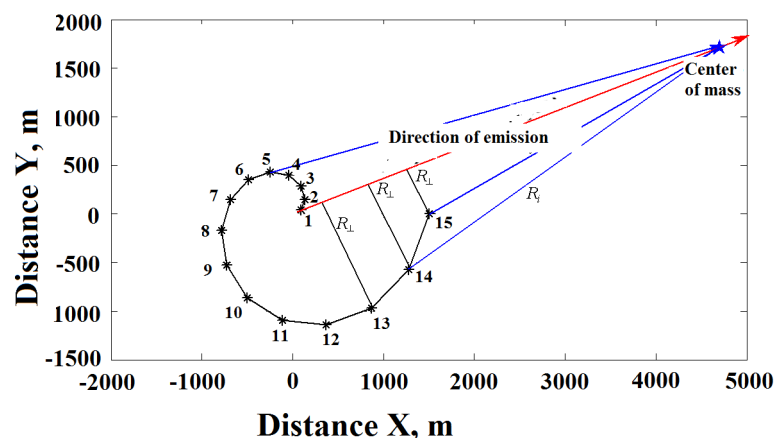


Fig. 11. Illustration of the assessment of the spectral composition of gamma emission from the emission plume approximated by a line source [6]

Reconstructed spectra enable determination of the medium energy of photon emission of the radioactive impurity that forms a radioactive cloud, which, in its turn,



enables assessment of the radiation burden on public and staff. Medium energy is integral quantity expressed as follows

$$E_{av} = \frac{\int_{E_{min}}^{E_{max}} E \phi(E) dE}{\int_{E_{min}}^{E_{max}} \phi(E) dE} . \quad (27)$$

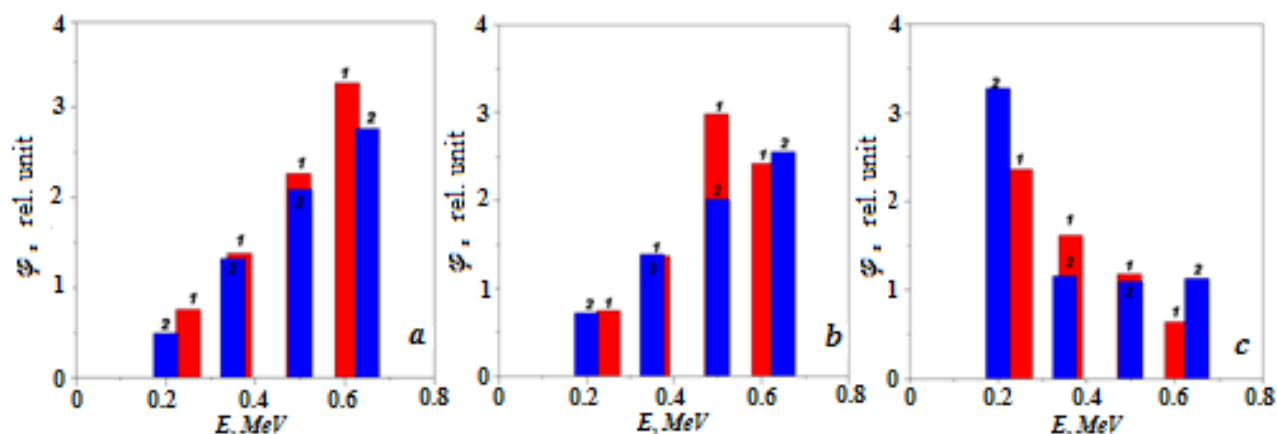


Fig. 12. Calculation results of reconstruction of spectral composition of gamma emission from the emission plume approximated by a line source for three types of gamma emission spectrum: *a* – increasing; *b* – “curved”; *c* – decreasing spectrum [6]

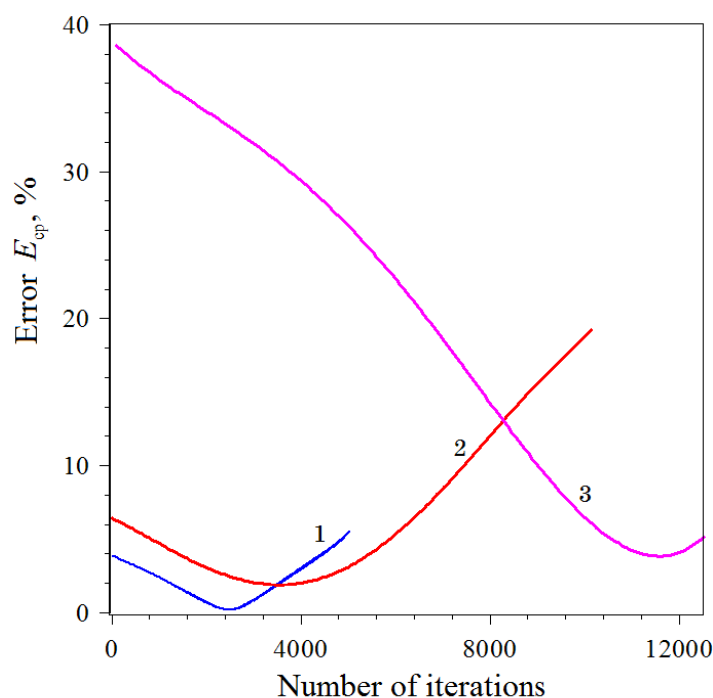
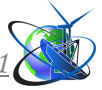


Fig. 13. Condition of iteration process convergence when reconstructing spectral composition of γ -radiation from the emission plume approximated by a line source for three types of γ -radiation spectrum: 1 – increasing; 2 – “curved”; 3 – decreasing [6]

It should be noted that the knowledge of this value allows to greatly simplify estimation of the radiation burden on staff and public because otherwise, these values



had to be calculated for each radionuclide photon energy considering the decay scheme for each of them.

Comparison of medium energy of reconstructed and a priori spectra shows satisfactory concordance with regard to medium energy E_{av} (table 4). Relative calculating error is less than 1% [6]. Fig. 13 shows dependencies of the error of the medium energy of the spectra of γ - radiation reconstructed by the method of N. Scofield as iterative process curves when assessing the convergence of medium energy E_{av} .

5. The principle of arrangement of posts of Automated Radiation Monitoring System for two and more power units of the NPP

The above method of arrangement of control posts is feasible for one NPP unit, but is not sufficient in case of two or more units. The reason is that if we arrange the system of γ sensors at each unit using the above method, it may result in duplicating sensors in a certain direction, which may eventually cause their redundancy or their number, which is far from being optimal.

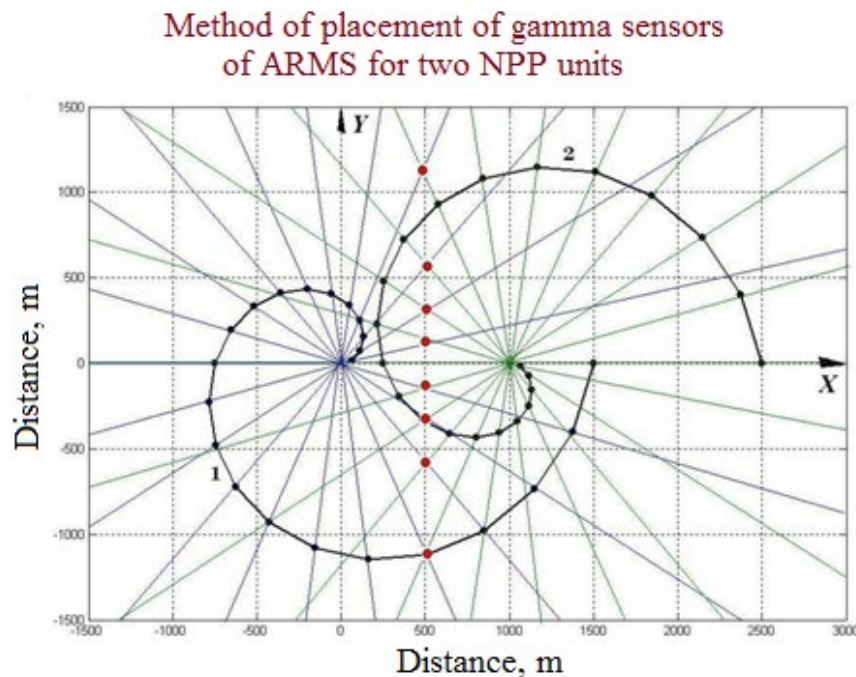


Fig. 14. Method of placement of control stations for two power units [6]

To optimize the number of the sensors arranged between NPP units, they are preliminarily arranged along the Archimedean spiral (curves 1 and 2 in fig. 14) at each unit and cross points of two families of the lines passing through emission sources and sensors placed on curves [6] are found.

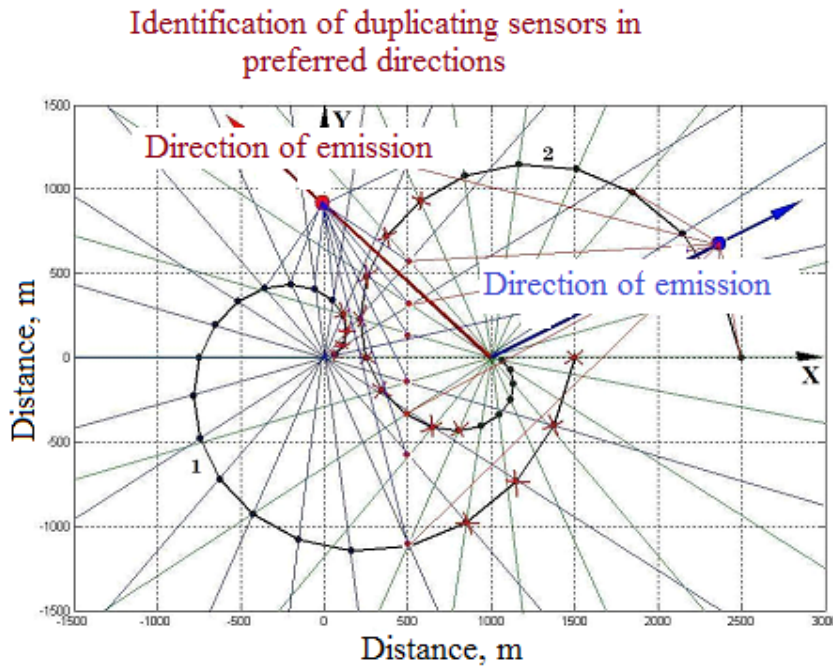
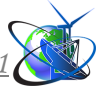


Fig. 15. Method of placement of control for two power units: identification of duplicating ARMS sensors [6]

Next, duplicate points are found in preferred directions. Duplicating sensors placed on the curves may be ignored in order to save financial and material resources (see the crossed out points in fig. 15). The points at the crossings of two families of the lines determine the required number of sensors to be arranged between NPP units and their coordinates (see the vertical points in fig. 14 and 15).

The family of lines that describe curve 1 (Archimedean spiral) is determined by the equation:

$$y_i^{(1)} = x \cdot \operatorname{tg}(\varphi), \quad (28)$$

where $\varphi = i \cdot \Delta\varphi$, $i = 1, 2, \dots, m$; $\Delta\varphi = 2\pi/N_s$, N_s is the sufficient number of ARMS sensors arranged around one NPP unit so that, with any azimuth angle of atmospheric emission of the radioactive impurity, the emission plume could be recorded with the strongly stable meteorological condition of the atmosphere (category *F* by Pasquill-Gifford model) [6] or with a high value of the ground layer parameter $L > 0$.

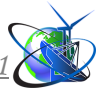
Curves 1 and 2 are described by the equation $R = R_0\varphi$. The value of R_0 is selected from the condition $R_{\max} = R_0 \cdot 2\pi$. It follows that $R_0 = R_{\max}/2\pi$. $R_{\max} = 1500.0$ m is taken as $R_{\max}$ – distance to the emission source with total activity $Q = 5 \cdot 10^6$ Ci situated at a height of $h = 100$ m, at which the source creates the rate of photon emission dose equivalent comparable to the natural background radiation.

The family of lines that describe curve 2 is determined by the equation

$$y_i^{(2)} = (x_0 - x) \operatorname{tg}(\varphi), \quad (29)$$

where x_0 is the distance between sources of possible atmospheric emission of the radioactive impurity at cross points of the family of lines $y_i^{(1)} = y_i^{(2)}$, and the value of the absciss of cross points does not depend on φ (index i) and equals to

$$x = x_0/2. \quad (30)$$



On the opposite, the values of ordinates of cross points of the families of lines depend on the angle φ (index i) and are expressed as follows

$$y_i^{(1)} \equiv y_i^{(2)} = \frac{x_0}{2} \operatorname{tg}(\varphi) = 0,5x_0 \operatorname{tg}(i \cdot \Delta\varphi), \quad (31)$$

where, according to fig. 14 and 15, $i = \pm 1, 2, 3, 4$.

When determining sensor ordinates, the value of index i has to be restricted so that the following conditions is met

$$\sqrt{(y_i^{(1)})^2 + (0,5x_0)^2} \leq R_{\max}. \quad (32)$$

Once the system of ARMS sensors that meet the requirements to each system has been built, duplicating sensors may be ignored in order to save financial and material resources (see the crossed out points in fig. 15).

6. Conclusions

The final layout of ARMS sensors for two NPP units is shown in fig. 16. Arrows show hypothetical directions of atmospheric emissions of the radioactive impurity from one of the sources. The large points in preferred directions represent the center of mass of the nuclear release propagating in this direction. The straight lines that connect centers of mass with ARMS γ sensors show the sensor reading inquiry system, which readings are further on used to determine the spectrum and medium energy of photon emission of the radioactive impurity propagating with the wind.

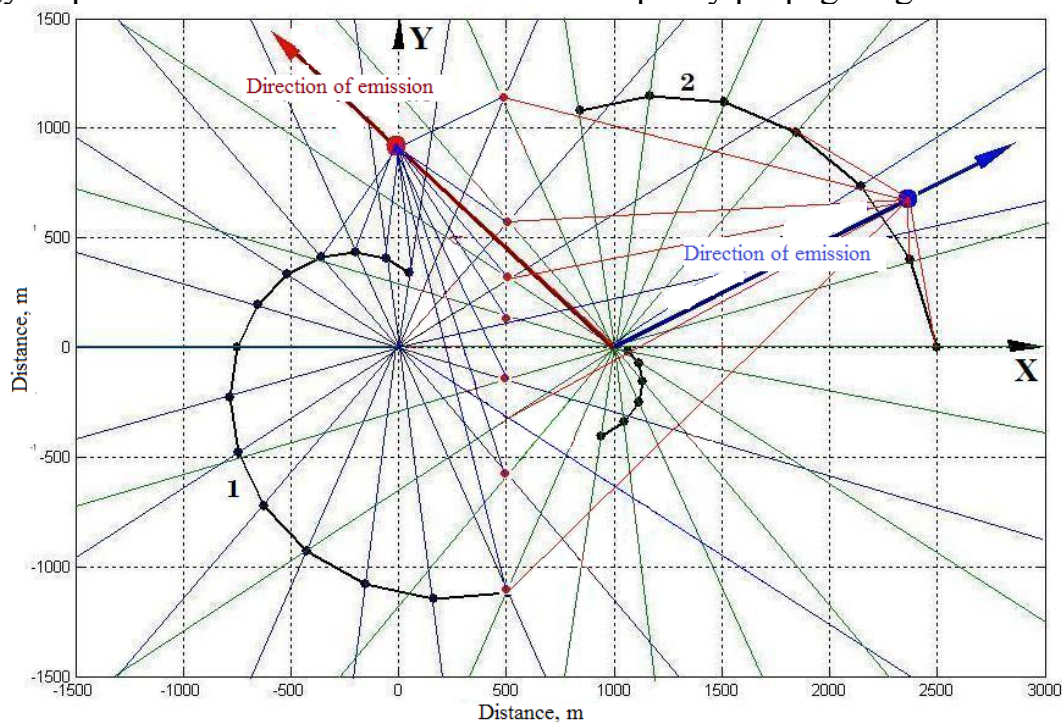


Fig. 16. Principal layout of γ sensors of ARMS radiation monitoring system for two NPP power units. *Arrows* show hypothetical directions of atmospheric emissions of the radioactive impurity at one of the sources. *Large points* in preferred directions represent the center of mass of the nuclear release propagating in this direction. *Lines* that connect centers of mass with ARMS γ sensors show the sensor reading inquiry system, which readings are further on used to determine the spectrum and medium energy of photon emission of the radioactive impurity propagating with the wind [6]



If the ARMS system is built for three¹ NPP units situated in line (as experience shows), the similar problem is solved for the second and third NPP units by translation (displacement) of curve 1 along X axis and the emission source is arranged at a distance of x_0 from the second source, etc.

In case of atmospheric emission of the radioactive impurity in the conditions of a radiation accident at NPP with the set (for example, left or right) directions, ARMS (according to fig. 16) requires all the sensors, records their readings and determines the stability of the atmosphere in order to specify conditions of radioactive impurity spread, determines its radionuclide composition using readings of spectrometric equipment or, in case of its failure, readings of ARMS sensors, determines the spectrum and medium energy of photon emission and forecasts radioactive contamination of environment and radiation burden on public and staff, thus, providing the NPP management with the information required to make a relevant decision to mitigate the radiation accident consequences.

7. Recommendations

This work may be of interest to nuclear industry workers engaged in the operation of nuclear power plants, research officers of design organizations that design automated systems of ARMS type for environmental officers of enterprises of metal and chemical industries, environmental engineers, etc.

References

[1] Elokhin A.P., Vlaskin N.M. Principles of placing the radiation control posts in SPZ and control area of Bushehr NPP [Printsipy rasstanovki postov radiatsionnogo kontrolya v sanitarno-zashchitnoy zone i zone nablyudeniya AES "Bushehr"]. Ecological systems and devices. No. 6, 2004, P. 40-46.

[2] Group of authors. Methods for calculating the distribution of radioactive substances in the environment and the population exposure doses [Metody rascheta rasprostraneniya radioaktivnykh veshchestv v okruzhayushchey srede i doz oblucheniya naseleniya]. Moscow: MKhO Interatomenergo, 1992. P. 334.

[3] Leichtman D.L. Physics of the planetary boundary layer [Fizika pogranichnogo sloya atmosfery]. Leningrad: Gidromet publishing house, 1970, P. 340.

[4] Elokhin A.P., Starodubtsev I.A. Assessment of material costs incurred in the course of liquidation of the consequences of radioactive contamination of the underlying surface in case of a radiation accident at a nuclear facility [Otsenka

¹ If one considers the particular case of ARMS for units 2 and 3 of Bushehr NPP, the recommendations are as follows. Since the distance between the second and third units is only a little more than 300 m, it is feasible to place the geometric center of the source of possible radioactive emissions between them. In this case, the problem of arranging control posts is reduced exactly to the one described above. If radiation monitoring posts are placed on buildings in this case, they should be arranged so as to rule out detector shielding by a higher building situated in the direction of a line drawn from the air chimney orifice to the detector under study, or this detector should be raised to a certain height to rule out this effect



materialnykh zatrat pri likvidatsii posledstviy radioaktivnogo zagryazneniya podstilayushchey poverkhnosti pri radiatsionnoy avarii na OIAE]. Global nuclear safety, 2016, No. 3(20), P. 7–34.

[5] Elokhin A.P., Starodubtsev I.A. Some assessments of material costs incurred in the course of liquidation of the consequences of radioactive contamination of the environment in case of a radiation accident at a nuclear facility [Nekotoryye otsenki materialnykh zatrat pri likvidatsii posledstviy radioaktivnogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy v rezultate radiatsionnoy avarii na OIAE]. Materials of the XIIth International Conference Science and Education. July 1-2, 2016, Munich, Germany. P. 55-81.

[6] Elokhin A.P. Methods and means of the environment radiation monitoring systems [Metody i sredstva sistem radiatsionnogo kontrolya okruzhayushchey sredy]. Monograph / Ministry of Education and Science of the Russian Federation. National Research Nuclear University MEPhI. Moscow: National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 2014. P. 520.

[7] Elokhin A.P. Optimization of methods and means of the automated radiation monitoring systems [Optimizatsiya metodov i sredstv avtomatizirovannykh sistem kontrolya radiatsionnoy obstanovki okruzhayushchey sredy]. Doctoral thesis in Engineering. Moscow: MEPhI, 2001. P. 325.

[8] Model Plan for Measures to Ensure Safety of Personnel in the Event of an Accident at a Nuclear Power Plant [Tipovoye soderzhaniye plana meropriyatiy po zashchite personala v sluchaye avarii na atomnoy stantsii] (NP 01-12). Federal regulations on the use of atomic energy. Approved by the Order No. 518, dated September 18, 2012 of the Federal Service for Environmental, Process and Nuclear Supervision.

[9] Nuclear Power Production and Development Company. Bushehr-2 NPP. Power units 2, 3. Vol. 4. Engineering and groundwater surveys. Book 1. Aero- and meteorological activities and studies. 2015. P. 235.

[10] Bobyleva M.M. Calculation of the characteristics of turbulence in the planetary boundary layer of the atmosphere [Raschet kharakteristik turbulentnosti v planetarnom pogranichnom sloye atmosfery] // Materials of the Leningrad Hydrometeorological Institute. Issue 40 (Some physical aspects of the boundary level in the atmosphere and sea). Leningrad, 1970, P. 64-73.

[11] Elokhin A.P., Zhilina M.V. (Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety), Rau D.F., Ivanov Ye.A. (VNIIAES). Regulation on the increase of the accuracy of predictive assessments of radiation characteristics of the environment radioactive contamination and radiation exposure of personnel and population [Polozheniye o povyshenii tochnosti prognosticheskikh otsenok radiatsionnykh kharakteristik radioaktivnogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy i dozovykh nagruzok na personal i naseleniye]. Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Federal Service for Environmental, Process and Nuclear Supervision RB 053-09. Approved by the Order No. 465, dated June 8, 2010, of the Federal Service for Environmental, Process and Nuclear Supervision. P. 79.



[12] Meteorology and atomic energy [Meteorologiya i atomnaya energiya]. / Translated from English. / Edited by H.J. Byzova N.L., Makhonko K.P. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. P. 618.

[13] Application of Monte-Carlo method for resolving the radiation transfer problem [Metod Monte-Karlo v probleme perenosa izlucheniya]. / Edited by corresponding member of the Academy of Sciences Marchuk G.I. Moscow: Atomizdat, 1967. P. 256.

[14] Leimdorfer M. On the Use of Monte Carlo Methods for Solving Gamma Radiation Transport Problems. // Nukleonik, 1964. V.6. P.14.

[15] Zolotukhin V.G., Kimel L.R., Ksenofontov A.I. et al. Radiation field of the point monodirectional gamma-ray source [Pole izlucheniya tochechnogo mononapravlennoy istochnika gamma-kvantov]. Moscow: Atomizdat, 1974. P. 160.

[16] Sobolev I.M. Monte-Carlo numerical methods [Chislennyye metody Monte-Karlo]. Moscow: Nauka publishing house, 1973. P. 311.

[17] Gusev N.G., Belyayev V.A. Radioactive emissions in the biosphere [Radioaktivnyye vybrosy v biosfere]. Reference book. Moscow: Energoatomizdat, 1986. P. 224.

[18] Sanitary Rules and Regulations. SanPiN 2.6.1.223-09 Radiation Safety Standards (NRB-99/2009).

[19] Elokhin A.P., Starodubtsev I.A. Revisiting the issue of the use of automated systems for environmental monitoring in the areas surrounding enterprises of ferrous and nonferrous metallurgical and nuclear industries [K voprosu ob ispolzovanii avtomatizirovannykh sistem kontrolya ekologicheskoy obstanovki na territoriyakh, prilegayushchikh k predpriyatiyam chernoy, tsvetnoy metallurgicheskoy i atomnoy promyshlennosti]. Global nuclear safety, 2015, No. 4(17), P. 15–34.

[20] Alexander P. Elokhin A.P., Starodubtsev I.A. On the Ecological Situation at the Territories Adjacent to Chemical and Metallurgical Facilities. (Subtitle: Using Sensors and an Automated Control System to Monitor Environmental Conditions). Environmental Quality Management. (USA), 2017. Issue 26, No. 2. P. 23-43.

[21] Elokhin A.P. Automated systems for monitoring the radiation environment [Avtomatizirovannyye sistemy kontrolya radiatsionnoy obstanovki okruzhayushchey sredy] / Elokhin A.P. Training manual. Moscow: National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 2012. P. 316.

[22] Elokhin A.P. Rationale for placing the dose rate sensors around NPP [Printsipy razmeshcheniya datchikov moshchnosti dozy vokrug AES]. Atomic energy, vol. 76, issue 3, 1994. P. 188–193.

[23] Elokhin A.P., Rau D.F. System for monitoring the radiation situation in nuclear facility areas [Sistema kontrolya radiatsionnoy obstanovki v zonakh razmeshcheniya oyektov atomnoy promyshlennosti]. RF patent of invention No. 2042157, 20.08.96, Bulletin No. 23, P. 230-231.

[24] Mashkovich V.P., Kudryavtseva A.V. Protection from ionizing radiation [Zashchita ot ioniziruyushchikh izlucheniya]. Manual. Moscow: Energoatomizdat, 1995. P. 496.



УДК 631.3:331.43

**THE SAFETY OF PRODUCTION PROCESSES
AT THE FOOD INDUSTRY ENTERPRISES
БЕЗПЕКА ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ
ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Garmash S.N. / Гармаш С.М.*s.agr.s., as.prof. / к.с.-г.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-2658-162X

*Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Gagarin avenue, 8, 49005
Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, пр. Гагаріна, 8, 49005*

Анотація. В роботі встановлено основні фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні небезпечні виробничі фактори на підприємствах харчової промисловості. Представлено проблеми пожежонебезпеки харчових виробництв на прикладі хлібопекарської, кондитерської, макаронної, бродильної галузей. Показано основні технологічні та технічні причини пожеж на харчових виробництвах. Представлено причини аварій при експлуатації об'єктів, що працюють під тиском. Розроблено рекомендації для створення безпечних умов праці та пожежної безпеки на підприємствах харчової промисловості.

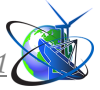
Ключевые слова: харчові виробництва, небезпечні виробничі фактори, пожежна безпека, організаційно-технічні заходи

Вступ. Для сучасних харчових виробництв характерні швидка зміна технологій, оновлення обладнання, впровадження нових процесів і матеріалів, які недостатньо вивчені з точки зору негативних наслідків їх застосування. Причиною виникнення аварійної ситуації на виробництвах харчової промисловості є можливі вибухи і пожежі, їх наслідки – руйнування і пошкодження будівель і споруд, техніки і обладнання; вихід із ладу ліній зв'язку, енергетичних та комунікаційних споруд; нещасні та смертельні випадки серед обслуговуючого персоналу та населення [2].

На підприємствах по зберіганню і переробки зерна, виготовлення хліба та хлібобулочних виробів присутні несприятливі фактори: запиленість в приміщеннях, що пов'язані із зберіганням і підготовкою борошна, цукру та сировини; загазованість в пекарних залах, топкових відділеннях, котельнях; вибухонебезпека у зв'язку з використанням газу в якості палива, аміачних компресорів в холодильних установках, а також посудин, що працюють під тиском, в тому числі котлів і теплообмінників. Основними причинами виникнення вибухонебезпечних ситуацій на борошномельних заводах вважають порушення технологічного процесу підприємства, а також порушення норм та правил експлуатації технологічного обладнання.

Найбільша кількість пожеж в електроустановках на підприємствах харчової промисловості виникає в результаті коротких замикань, струмових перевантажень, перегріву контактів із великими перехідними опорами. Пожежну небезпеку в системах вентиляції становлять фільтри, циклони, пиловловлювачі, де утворюються небезпечні концентрації пилу.

Шкідливі і небезпечні виробничі фактори на харчових підприємствах. На хлібопекарських, макаронних, кондитерських, бродильних, цукрових



виробництвах присутні небезпечні і шкідливі виробничі фактори (фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні). До *фізичних факторів* на хлібо заводах і інших виробництвах відносяться: підвищена температура зовнішніх поверхонь печей (вище 45°C), підвищена температура повітря на робочих місцях (до $30\text{--}38^{\circ}\text{C}$). Печі є джерелом інфрачервоної радіації. Серйозну загрозу представляють ураження електричним струмом, накопичення статичної електрики до вибухонебезпечного іскроутворення в системах пневмотранспорту борошна та ін. [1].

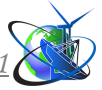
До *хімічних факторів* відносяться: виділення сірчастого газу, оксидів азоту з печей, диму і шкідливих речовин при підгорянні масла або продукції, діоксиду вуглецю при бродінні і ін., а також матеріалів, що використовуються при дезінфекції обладнання (кислоти, луги, хлорне вапно і ін.). Одним з небезпечних забруднювачів є акролеїн (CH_2CHCHO), що утворюється при термічному розкладанні масла або жиру. При температурі вище 140°C відбувається розкладання вершкової, топленої олії та тваринних жирів, а при температурі понад 190°C відбувається розкладання рослинних масел з утворенням акролеїну.

Характерною особливістю пивоварного і безалкогольного виробництва є значне виділення в повітря робочих зон надлишкової теплоти, вологи і діоксиду вуглецю, а в пивоварному виробництві – пилу та аміаку [8]. Бродильне відділення повинне забезпечуватися приладами для визначення концентрації CO_2 . Для своєчасної ліквідації аварійної ситуації у всіх охолоджуваних аміаком приміщеннях передбачена система сигналізації, яка сповіщає обслуговуючий персонал про появу запаху аміаку.

Гігієнічні умови в виробництві хлібного квасу, безалкогольних напоїв характеризуються впливом на працюючих несприятливого мікроклімату (на ділянці отримання сусла і його бродіння, на ділянці отримання цукрового сиропу при виконанні операцій розчинення), підвищеною температурою і відносною вологістю повітря, а на етапах охолодження молодого квасу, сатурації – низька температура повітря і підвищена вологість повітря.

До *біологічних факторів* належать мікроорганізми в хлібопекарських, цукрових і бродильних виробництвах, які можуть стати причиною захворювання працюючих при контакті з зерном та іншою вихідною сировиною, при забрудненні повітря мікроорганізмами в виробництві кормових дріжджів. До *психофізіологічних факторів* харчових виробництв відносяться емоційні навантаження і монотонні роботи (пасивне спостереження за ходом виробничого процесу та ін.) [6-7].

Пожежонебезпека харчових виробництв. Для хлібопекарської, кондитерської, макаронної, бродильної галузі харчової промисловості характерне значне число пожежо- і вибухонебезпечних місць, які розташовані вздовж всієї технологічної лінії виробництва. На бродильних виробництвах можуть утворюватися вибухонебезпечні концентрації парів спирту з повітрям, на багатьох харчових підприємствах застосовуються вибухонебезпечні гази (пропан, аміак, ацетилен і ін.). Промаслені текстильні матеріали при температурі навколишнього середовища $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ здатні виділяти таку кількість



теплоти, що може привести до самозаймання.

Джерелами запалювання на харчових підприємствах є відкритий вогонь технологічного обладнання (топки), а також непогашені недопалки та сірники; теплові прояви електричного струму; іскри і дуги короткого замикання; розряди статичної та атмосферної електрики; перегрів підшипників через відсутність або неправильного застосування мастильного матеріалу; іскри механічного походження, що виникають при зіткненні металевих частин обладнання (вентилятори, норії і ін.); самозаймання при зберіганні вихідного продукту в силосах; недбалому поводженні з рослинними оліями, промасленими обтиральними матеріалами, кисневими балонами.

Причинами коротких замикань є пошкодження ізоляції струмоведучих частин електрообладнання, механічні пошкодження в обмотках електродвигунів, вібрації, неправильний монтаж електрообладнання.

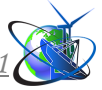
Технологічні причини пожеж: робота на несправному технологічному обладнанні або з порушенням режимів технологічних процесів, особливо при випічці, обсмажуванні, сушінні та інших способах обробки; застосування горючих речовин, які не відповідають технічним характеристикам технологічних печей, порушення режиму їх розпалювання, експлуатації та зупинки; неправильне заповнення легкозаймистими рідинами і горючими газами ємностей і комунікацій (без попереднього наповнення інертними газами); застосування інструменту, при ударах якого об тверду поверхню виникають іскри.

Основними причинами пожеж, пов'язаних з електрикою, є застосування електроустаткування, яке не відповідає категорії пожежо- та вибухонебезпечності виробництва; перевантаження технологічних транспортних магістралей з електроприводом, іншого електрообладнання та мереж; порушення ізоляції, інші несправності і пошкодження споживачів електричної енергії; відсутність засобів захисту від статичної електрики на технологічному обладнанні та працюючих; відсутність або порушення цілісності блискавковідводів [9].

Основні причини аварій при експлуатації об'єктів, що працюють під тиском. Харчові підприємства споживають багато теплової енергії у вигляді теплоти підігрітої води, повітря і пара. Наприклад, хлібобулочні вироби випікаються при температурному режимі 250–160 °С протягом 10–60 хв. На макаронних фабриках продукція сушиться в конвеєрних сушарках з витратою повітря до 7000 м³/год., підігрів в парових калорифери – до 85 °С. Витрата теплоти для приготування пивного суслу в заторном чані місткістю 1650 кг становить 35 400 МДж.

При виробництві близько 22 000 дал на добу безалкогольних напоїв в сироповарочних, купажних відділеннях, квасному і мийно-фасувальних цехах витрачається до 15 000 кг пара. При теплової обробці сировини на кондитерських фабриках в котлах обсягом 100–300 дм³ витрачається 50-150 кг/год. пара.

На харчових підприємствах уайбільшу небезпеку становлять вибухи парових котлів. Робочий тиск котлів, які експлуатуються на хлібопекарських



підприємствах, становить 0,07 МПа, кондитерських – 0,3–1,1, цукрових – 4, безалкогольних напоїв – 0,05–0,3 МПа.

Основними причинами вибухів котлів є: порушення правил технічної експлуатації, режимів їх роботи, а також посадових інструкцій, вимог техніки безпеки; дефекти і несправності конструкторських вузлів котлів [4-5].

Внаслідок зниження рівня води в котлі в його топкової частини стіни нагріваються вище критичної температури, знижується міцність металевої стінки, під тиском пара стінки видуваються, що може призвести до вибуху. Всі котли з тиском пари вище 0,07 МПа і продуктивністю понад 0,7 т/год. повинні бути оснащені автоматичними звуковими сигналізаторами граничного нижнього рівня води поплавкового типу.

На хлібопекарських, кондитерських, макаронних і бродильних підприємствах експлуатуються трубопроводи третьої і четвертої категорій для пара з температурою не більше 350 °С і тиском менше 2,2 МПа, гарячої води з температурою вище 115 °С і тиском менше 1,6 МПа, а на цукрових є трубопроводи пари першої та другої категорії.

Трубопроводи горючих та токсичних газів повинні бути оснащені штуцерами з запірними пристроями для заповнення трубопроводу інертним газом з метою забезпечення безпеки процесу наповнення його робочим середовищем.

Висновки

1. Основні заходи харчових підприємств, які запобігають виникненню пожежі, повинні бути направлені на попередження можливості утворення горючого середовища і появи джерел загоряння.

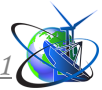
2. У виробничих приміщеннях, де утворюються вибухонебезпечні концентрації, для постійного контролю повітряного середовища необхідно використання автоматичних системи із застосуванням різних видів газоаналізаторів і датчиків. Системи блокуються з аварійною витяжною вентиляцією для видалення токсичних продуктів і диму при пожежі. Установки аварійної вентиляції повинні бути встановлені ззовні будівель і споруд і спрацьовують автоматично при наявності в приміщеннях концентрацій газів і парів, які перевищують ГДК, або досягають 20 % нижнього ступеня займання.

3. Пожежну небезпеку в системах вентиляції становлять фільтри, циклони, пиловловлювачі, де утворюються небезпечні концентрації пилу. Для попередження надзвичайної ситуації необхідно проводити постійний контроль вмісту пилу та використати відповідні системи автоматичного контролю та сигналізації.

4. Котли з тиском пари вище 0,07 МПа і продуктивністю понад 0,7 т/год. повинні бути оснащені автоматичними звуковими сигналізаторами граничного нижнього рівня води поплавкового типу.

Література:

1. ГОСТ 12.0.003–15. Межгосударственный стандарт ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – К : Мінбуд України, 2015. – 41 с.



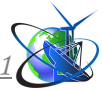
2. Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І Ф, Вендичанський В.Н., Литвиненко А.М., Іваненко. О. В. Основи охорони праці. – К.: Основа, 2000. – 416 с.
3. Державні санітарні норми та правила. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. – К.: МОЗ, 2014. – 37 с.
4. ДБН В.2.5-56-2014. Системи протипожежного захисту. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2014. – 285 с.
5. НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. – Зареєстровано у Міністерстві юстиції України № 433/31885 від 10.04.2018.
6. Гармаш С.М. Комплексний підхід до організації охорони праці та цивільного захисту на промислових підприємствах України // Развитие технологий будущего: монография. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ. – 2018. – С. 69-75. ISBN 978-617-7414-44-4. DOI: 10.30888/978-617-7414-44-4.0-026.
7. Гармаш С., Жмура А. Разработка стандартов предприятия по безопасности труда на предприятиях молочной промышленности // Хімія та сучасні технології: VIII Міжнар. наук.-практ. конф. студ., аспір. та мол. вчених. – Дніпро, 28.04.2017. – Т. 6. – С. 57. ISBN 978-966-8018-99-2.
8. Гармаш С., Семенов Н. Актуальность внедрения системы управления гигиеной и безопасностью труда на предприятиях пищевой промышленности // Хімія та сучасні технології: тези допов. VIII Міжн. конф. студ. та молод. вчених. – Дніпро, 28.04.2017. – Т. 6. – С. 23. ISBN 978-966-8018-99-2.
9. Жеребіло А., Герасименко В., Гармаш С., Рунова Г. Ідентифікація негативних виробничих факторів пивобезалкогольного виробництва //Хімія та сучасні технології: VIII Міжнар. науково-практ. конф. студ., аспір. та мол. вчених. – Дніпро, 28.04.2017. – Т. 7. – С. 44. ISBN 978-966-8018-99-2.

Abstract. The main physical, chemical, biological and psychophysiological dangerous factors at the food industry enterprises are established. The cause of the emergency is possible explosions and fires, their consequences: the destruction and damage of buildings, structures, machinery, equipment, etc. The largest number of fires in electrical installations results from short circuits, current overloads, overheating of contacts with large transient resistances. Filters, cyclones, dust collectors, where dangerous concentrations of dust are formed, are a fire hazard in ventilation systems. The causes of accidents during the operation of pressurized objects are presented: steam and hot water boilers, pipelines for various purposes. Recommendations for the creation of safe working conditions and fire safety at food industry enterprises have been developed.

Key words: food production, dangerous production factors, fire safety, organizational and technical measures

Статья отправлена: 09.03.2020 г.

© Гармаш С.М.



STUDY OF THE INFLUENCE OF VEHICLES ON THE STATE OF THE AIR OF ZHYTOMYR BY THE METHOD OF LICHENOINDICATION

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ АВТОТРАНСПОРТУ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

М. ЖИТОМИРА МЕТОДОМ ЛІХЕНОІНДИКАЦІЇ

Herasymchuk O.L / Герасимчук О.Л.

c.p.s., senior lecturer / к.п.н., ст. викладач

ORCID.ORG/0000-0002-1279-1888

Zhytomyr polytechnic state university, Zhytomyr, Chudnivska 103, 10005

Державний університет «Житомирська політехніка»,

М. Житомир, Чуднівська 103, 10005

Анотація. В роботі розглядається можливість використання методу біоіндикації – ліхеноіндикації для дослідження техногенного навантаження автомобільного транспорту на стан повітряного середовища в умовах міста. Проведено аналіз результатів статистично-розрахункового методу та методу ліхеноіндикації оцінки впливу автомобільного транспорту на стан атмосферного повітря на прикладі м. Житомира. Встановлено вулиці, які зазнають найбільшого впливу автомобільного транспорту. Визначено загальний рівень техногенного навантаження автотранспорту на повітряний простір. Доведено ефективність використання лишайників в якості біоіндикатора.

Ключові слова: біоіндикація, лишайники, автомобільний транспорт, забруднення, повітряне середовище

Вступ. Розвиток урбанізованих територій призводить до стрімкого погіршення показників якості довкілля, зокрема повітряного середовища. Основною причиною погіршення екологічного стану міст є недосконале планування та розміщення у житловій зоні промислових підприємств, внаслідок чого відбувається забруднення повітря викидами стаціонарних і пересувних джерел, а також низький відсоток зелених насаджень, шумове забруднення. Особливо небезпечний вплив на екологічний стан атмосферного повітря міста останніми десятиліттями справляє зростання кількості автомобільного транспорту. Окрім викидів від згорання палива, автотранспорт призводить до зростання надходження свинцю в навколишнє середовище, а також до специфічних форм забруднення повітря. При русі стираються шини, і тисячі тон гуми у вигляді пилу потрапляють у повітря [3; 4; 5].

Проведення інструментального контролю вимагає значних затрат коштів та часу кваліфікованого персоналу, проте це не завжди доцільно. Дослідження (В. Горшков, С. Кондратюк, В. Кучерявий, В. Крамарець, О. Меліхова, І. Швадчак, М. Miller, Т. Nash, С. Gries) [6; 9] свідчать про можливість оцінки екологічного стану атмосферного повітря міста за допомогою методів біоіндикації, зокрема ліхеноіндикації.

Метою нашого дослідження є встановлення ефективності використання методу ліхеноіндикації при вивченні впливу автотранспорту на стан атмосферного повітря в умовах м. Житомира.

Об'єкт дослідження – атмосферне повітря в межах м. Житомира.

Житомир – важливий економічний і науково-технічний центр регіону. Основним забруднювачем повітряного середовища є автомобільний транспорт. На даний час в м. Житомирі працює 4 стаціонарні метеорологічні пости



спостереження за станом атмосферного повітря. Вони здійснюють контроль вмісту чотирьох основних видів домішок: пилю, сульфур (IV) оксид, нітроген (II) оксид та карбон (II) оксид, а також специфічних: бенз(а)пірену і восьми важких металів (Fe, Cd, Mn, Cu, Ni, Pb, Cl, Zn) [3; 4]. Проте кількість автомобільного транспорту невідмінно зростає, що потребує додаткового контролю.

Багато українських та іноземних вчених таких, як: М. Пірогов, С. Волгін, С. Сонько, W. Grant, E. Owens, H. Dobben, C. Braak займаються оцінкою екологічного стану міста за допомогою методів біоіндикації [1; 8].

Основний текст. Оцінку забруднення атмосферного повітря м. Житомира було проведено використовуючи як біоіндикатор лишайники тому, що вони поширені у всіх районах міста, невибагливі до умов зростання і дуже чутливі до забруднень атмосферного повітря [1; 7].

Лишайники реагують на забруднення не так як вищі рослини. Довготривала дія низьких концентрацій забруднюючих речовин викликає пошкодження талому лишайника, що не зникають аж до цілковитого його відмирання. Це пов'язано з тим, що лишайники відновлюються дуже повільно, тоді як уражені тканини вищих рослин регенеруються порівняно швидко. Низька чутливість лишайника обумовлена безперешкодним проникненням разом із опадами не лише мінеральних, а й шкідливих токсичних речовин. За чутливістю до забруднення повітря лишайники поділяють на групи. Найчутливішими до забруднення повітря є представники куцистих лишайників. Токситолерантними є накипні види, які виступають індикаторами кислого забруднення середовища.

Для підтвердження ефективності застосованого методу ліхеноіндикації дослідження включало два етапи: статистичний (розрахунковий) метод та метод ліхеноіндикації.

На першому етапі, дослідження проводили статистичним методом. Вулиці м. Житомира поділили на групи за різною інтенсивністю руху транспортних засобів та було обрано по декілька ділянок у кожній з груп. У якості контрольної обрали ділянку, що знаходиться за межами населеного пункту всередині лісового масиву, не ближче ніж за 2 кілометри до найближчої автомагістралі.

Аналіз отриманих даних вказує, що на більшості ділянок об'єм повітря, необхідний для розбавлення, перевищує умовний об'єм повітря, тому вони є забрудненими (від вул. Київської до вул. Максютіва) (табл. 1).

Таблиця 1.

Ступінь забрудненості повітря м. Житомира автотранспортом

Група	Назва дослідної ділянки	$V/V_{ум.}, m^3$
Перша група - чисте повітря	Контрольна ділянка	0,13
	Гідропарк	0,22
Друга група - відносно чисте повітря	Парк Гагаріна	0,4
Третя група - забруднене повітря	Вул. Максютіва	2,5
Четверта група - сильно забруднене повітря	Київське шосе	5,1
П'ята група - надто сильно забруднене повітря	Вул. Київська	21,8



Останні ж, навпаки, Парк Гагаріна, Гідропарк та контрольна ділянка виявились чистими. В Житомирі є 5 точок виїзду з міста (Київське шосе, проспект Миру, вул. Покровська, Бердичівське шосе, Чуднівське шосе), саме тут будуть райони із середньою інтенсивністю транспортних потоків. Слід відмітити, що в житлових зонах (вул. Кибальчича, вул. Максютіна, вул. Шевченка), також є значна кількість автомобілів, які проїжджають повз чи паркуються. Найменший рух спостерігається у зонах відпочинку м. Житомира – це Гідропарк, Парк Гагаріна та два сквери на вул. Соборній та вул. Польовій.

Наступний етап дослідження проводили методом ліхеноіндикації. На кожній ділянці обстежували 10 старих, але здорових дерев, що ростуть окремо. На кожному дереві визначали вид лишайників. Після цього визначали оцінку ступеня покриття деревного стовбура лишайником, за допомогою рамки 30х30. Визначали вид лишайника та його відсоток від загальної площі рамки. Отримані дані заносилися до таблиці та наносилися на карту міста. Підраховували ступінь покриття стовбура дерева лишайниками. Потім знаходили середнє відсоткове значення по кожному виду лишайників і загальний відсоток покриття стовбура дерева.

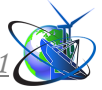
Після обробки всіх даних, вулиці м. Житомира розподілили за 5-ти бальною шкалою, відповідно до проективного покриття стовбура дерева, визначався рівень забрудненості повітря за кожною ділянкою (табл.2).

Таблиця 2.

Ступінь забрудненості повітря м. Житомира за 5-ти бальною шкалою проективного покриття стовбура дерева лишайниками

Бал та величина ступеня покриття стовбура дерева лишайниками	Розташування ділянки в межах м. Житомира	Загальний ступінь покриття стовбура дерева лишайниками, %
1 бал (80-100%) Перша зона - чисте повітря	Контрольна ділянка	90,6
	Гідропарк	83,0
2 бали (60-80%) Друга зона - відносно чисте повітря	Парк Гагаріна	73,4
3 бали (40-60%) Третя зона - забруднене повітря	Вул. Максютіна	56,9
4 бали (20-40%) Четверта зона - сильно забруднене повітря	Київське шосе	20,5
5 балів (1-20%) П'ята зона - надто сильно забруднене повітря	Вул. Київська	11,0

Розрахувавши та проаналізувавши дані можна зробити висновок, що Гідропарк відноситься до першої зони, оскільки величина ступеня покриття стовбура дерева лишайниками 83%, що входить в межі від 80 - 100%. Київське шосе відноситься до четвертої зони, величина ступеня покриття стовбура дерева лишайниками 20,5%, що входить в межі від 20 - 40%. Вул. Київська відноситься до п'ятої зони, величина ступеня покриття стовбура дерева лишайниками 11 %, що входить в межі від 1 - 20%.



Виходячи з отриманих даних бачимо, що чистою ділянкою є контрольна та Гідропарк, які мають великий видовий склад флори, відсутність промислових підприємств та впливу автотранспорту.

Стан досліджуваних ділянок за розрахунками двох методів співпав на 5 територіях, з яких:

- чисті – контрольна ділянка, Гідропарк; - відносно чисті – Парк Гагаріна;
- сильно забруднені – Київське шосе; - надто сильно забруднені – вул. Київська.

Отримані дані в кожному методі дещо відрізняються. Тому треба визначити тісноту кореляційної залежності між результатами. Математична обробка отриманих даних вказує, що коефіцієнт кореляції при застосуванні методу ліхеноіндикації становить 0,942, а при розрахунковому методі – 0,913. Це обумовлене тим, що забруднення атмосферного повітря міст значною мірою обумовлене викидами автотранспорту, але крім цього на стан атмосфери впливають також і інші фактори: викиди підприємств, заводів, комунальної сфери та ін.

Висновки. В результаті проведеного аналізу стану атмосферного повітря в межах м. Житомира методом ліхеноіндикації було встановлено:

1. Загальна інтенсивність транспортного потоку по всіх районах м. Житомира за кількістю автомобілів приблизно однакова. Лише в час пік на деяких вулицях міста можна спостерігати деяке підвищення інтенсивності руху транспортних засобів. Майже по всіх досліджуваних ділянках було виявлено перевищення санітарної норми. Ділянки, які не перевищують санітарної норми це: Парк Гагаріна, Гідропарк та контрольна ділянка.

2. Досліджувані ділянки розподілилися на три категорії: забруднені, сильно забруднені і надто сильно забруднені. До останніх відноситься вул. Київська, адже на ній завантаженість автотранспортом досить велика. До сильно забруднених належить Київське шосе. Лише ті ділянки, які знаходяться в житлових районах та мають значне озеленення є чистими.

3. В результаті проведеного аналізу стану атмосферного повітря в межах м. Житомира методом ліхеноіндикації виявилось, що атмосферне повітря міста має середній рівень забруднення. Про це, свідчить, наявність лишайників на вулицях міста майже у 50%. На центральній вулиці міста – Київській зовсім відсутній найчутливіший вид лишайників – кустистий.

Аналіз з результатів, отриманих під час розрахунків, вказує на ефективність застосування методу ліхеноіндикації для вивчення рівня забруднення повітря.

Література:

1. Бязров Л. Г. Лишайники в екологічному моніторингу / Л. Г. Бязров. – К.: Науковий світ, 2008. – 336 с.
2. Горшков В. В. Розподіл проективного покриття епіфітних лишайників в соснових лісах при різному рівні атмосферного забруднення / В. В. Горшков // Лісове господарство, 2009. – № 10. – С. 14.
3. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.З., Говорун А.Г. Екологія та автомобільний транспорт : Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2006. – 87-267 с.



4. Канило П. М. Автомобіль та навколишнє середовище / П. М. Канило, І. С. Бей, О. І. Ровенський. – Харків : Прапор, 2000. – 304 с.
5. Козлов Ю.С. и др. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. - М.: "АГАР", 2000. - 176с.
6. Мелехова О.П., Егорова Е.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. – М.: Академия, 2007. – 288 с.
7. Пірогов М. В. Біоіндикаційні дослідження за епіфітною ліхенофлорою шпилькових і листяних дерев на Західній Україні / М. В. Пірогов, С. О. Волгін // Наукові основи збереження біотичної різноманітності. Тематич. збірн. Інститутекології Карпат НАН України. – Львів: Ліга-Прес, 2006 – В. 7. – С. 86–91.
8. Dobben H. F. Ranking of epiphytic lichen sensitivity to air pollution using survey data: a comparison of indicators scales / H. F. Dobben, C. J. F. Braak // *Lichenologist*. – 2011. – Vol. 31. – № 1. – P. 27–39.
9. Nash T.H. The response of lichens to atmospheric deposition with an emphasis on the Arctic T. H. Nash, C. Gries // *Sci. total environ* 2008. – Vol.160/161. – P. 737 – 747.

References.

1. Beazrov L. G. (2008). Lyshaynyky v ekolohichnomu monitorynhy [Lichen sin environmental monitoring]. K.: Scientific World [in Ukrainian].
2. Gorshkov V. V. (2009). Rozpodil proektyvnoho pokryttya epifitnykh lyshaynykiv v sosnovykh lisakh pry riznomu rivni atmosferного zabrudnennya [Distribution of projective cover of epiphytic lichens in pine forests at different levels of atmospheric pollution]. Forestry [in Ukrainian].
3. Gutarevich Yu.F., Zerkalov D.Z., Govorun A.G. (2006). Ekolohiya ta avtomobil'nyy transport [Ecology and road transport]. A guidebook. K.: Aristey [in Ukrainian].
4. Kanilo P.M.(2000) Avtomobil' ta navkolyshnye seredovyshe [Car and the environment] / P. M.Kanilo, I. S. Bay, O. I.Rovensky. Kharkiv: Flag [in Ukrainian].
5. Kozlov Yu.S. and others. (2000) Ekologicheskaya bezopasnost' avtomobil'nogo transporta [Environmental safety of automobile transport] M.: AGAR [in Russia].
6. Melekhova O. P, Egorova E. I. (2007). Biologicheskii kontrol' okruzhayushchey sredy: bioindikatsiya i biotestirovaniye [Biological control of the environment: bioindication and biotesting]. M.: Academy[in Russia].
7. Pirogov M. V. (2006). Bioindykatsiyni doslidzhennya za epifitnoyu likhenofloroyu shpyl'kovykh i lystyanykh derev na Zakhidniy Ukrayini [Bioindicative studies on epiphytic lichen flora of pinus and deciduous trees in Western Ukraine] / M.V. Pirogov, S.O.Volgin // Scientific bases of biodiversity conservation. Themed. national teams Institute of Ecology of Carpathians of NAS of Ukraine. Lviv: Liga Press[in Ukrainian].
8. Dobben H. F. (2011) Ranking of epiphytic lichen sensitivity to air pollution using survey data: a comparison of indicators scales / H. F. Dobben, C. J. F. Braak // *Lichenologist*. [in the UK].
9. Nash T.H. (2008) The response of lichens to atmospheric deposition with an emphasis on the Arctic T. H. Nash, C. Gries // *Sci. total environ*.

Abstract. The paper considers the possibility of using the method of bioindication - lichen indication for the study of technogenic load of road transport on the state of the air environment in city conditions. The analysis of the results of the statistical calculation method and the method of lichen indication of the assessment of the influence of road transport on the state of atmospheric air in the example of Zhytomyr is conducted. The streets that are most affected by road transport have been installed. The general level of technogenic loading of motor transport on air space is determined. The efficiency of using lichens as a bioindicator has been proved.

Key words: bioindication, lichen, road transport, pollution, air environment



Expert-Peer Review Board of the journal

Экспертно-рецензионный Совет журнала

Abdulveleva Rauza Rashitovna, Orenburg State University, Russia
Antoshkina Elizaveta Grigorevna, South Ural State University, Russia
Artyuhina Marina Vladimirovna, Slavic State Pedagogical University, Ukraine
Afinskaya Zoya Nikolaevna, Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Russia
Bashlaj Sergej Viktorovich, Ukrainian Academy of Banking, Ukraine
Belous Tatyana Mihajlovna, Bukovinian State Medical Academy, Ukraine
Bondarenko Yuliya Sergeevna, PSU named after T.G. Shevcheckko Department of Psychology, Ukraine
Butyrskij Aleksandr Gennadevich, Medical Academy named after S.I. Georgievsky, Russia
Vasilishin Vitalij Yaroslavovich, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine
Vojcehovskij Vladimir Ivanovich, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
Gavrilova Irina Viktorovna, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Russia
Ginis Larisa Aleksandrovna, South Federal University, Russia
Gutova Svetlana Georgievna, Nizhnevartovsk State University, Russia
Ivanova Svetlana Yurevna, Kemerovo State University, Russia
Ivlev Anton Vasilevich, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Russia
Idrisova Zemfira Nazipovna, Ufa State Aviation Technical University, Russia
Iliev Veselin, Bulgaria
Kirillova Tatyana Klimentevna, Irkutsk State Transport University, Russia
Kovalenko Tatyana Antolevna, Volga State University of Telecommunications and Informatics, Russia
Kotova Svetlana Sergeevna, Russian State Vocational Pedagogical University, Russia
Krestyanpol Lyubov Yurevna, Lutsk State Technical University, Ukraine
Kuhtenko Galina Pavlovna, National University of Pharmacy of Ukraine, Ukraine
Lobacheva Olga Leonidovna, Mining University, Russia
Lyashenko Dmitrij Alekseevich, National Transport University, Ukraine
Makarenko Andrej Viktorovich, Donbass State Pedagogical University, Ukraine
Melnikov Aleksandr Yurevich, Donbass State Engineering Academy, Ukraine
Moroz Lyudmila Ivanovna, "National University" "Lviv Polytechnic" "", Ukraine
Muzylyov Dmitrij Aleksandrovich, Kharkov National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko, Ukraine
Nadopta Tatyana Anatolievna, Khmelnytsky National University, Ukraine
Napalkov Sergej Vasilevich, Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky, Russia
Nikulina Evgeniya Viktorovna, Belgorod State National Research University, Russia
Orlova Anna Viktorovna, Belgorod State National Research University, Russia
Osipov Viktor Avenirovich, Tyumen State University, Russia
Privalov Evgenij Evgrafovich, Stavropol State Agrarian University, Russia
Pyzhyanova Nataliya Vladimirovna, Ukraine
Segin Lyubomir Vasilovich, Slavic State Pedagogical University, Ukraine
Sergienko Aleksandr Alekseevich, Lviv National Medical University named after Daniil of Galitsky, Ukraine
Sochinskaya-Sibirceva Irina Nikolaevna, Kirovograd State Technical University, Ukraine
Sysoeva Vera Aleksandrovna, Belarusian National Technical University, Belarus
Tleuov Ashat Halilovich, Kazakh Agro Technical University, Kazakhstan
Tolbatov Volodimir Aronovich, Sumy State University, Ukraine
Tolbatov Sergij Volodimirovich, Sumy National Agrarian University, Ukraine
Hodzhaeva Gyulnaz Kazym kyzy, Russia
Chigirinskij Yulij Lvovich, Volgograd State Technical University, Russia
Shehmirzova Andzhela Muharbievna, Adygea State University, Russia
Shpinkovskij Aleksandr Anatolevich, Odessa National Polytechnic University, Ukraine



CONTENTS / СОДЕРЖАНИЕ

Mechanical engineering and machinery

Машиностроение и машиноведение

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-01-011> 5

INVESTIGATION OF THE FLEXIBLE PACKAGING ELEMENTS JOINING BY HOT MELT ADHESIVE

Herasimenko Y.Y., Sokolskyi A.L.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-01-012> 9

THE IMPACT OF 3D PRINTING PARAMETERS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THERMOPLASTIC PRODUCTS

Oleksyshen V.O., Sokolskyi A.L., Kolosov A.E., Solovei V. V.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-01-022> 17

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CUTTING MODES AND INTERMITTENT GRINDING WHEEL PARAMETERS ON THE GRINDING TEMPERATURE OF THE ROLLER BEARINGS

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ТА ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА ТЕМПЕРАТУРУ ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ

Hruniuk S.V./Гринюк С.В.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-01-038> 22

RESTORATION OF HYBRID SUCKER RODS TECHNICAL CHARACTERISTICS

ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІБРИДНИХ НАСОСНИХ ШТАНГ

Stefanyshyn A.B./Стефанишин А.Б.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-01-041> 27

DEVELOPMENT OF A VARIANT OF MATHEMATICAL THEORY OF THICK TRANSVERSAL-ISOTROPIC PLATES

РОЗВИТОК ВАРІАНТА МАТЕМАТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ТОВСТИХ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНИХ ПЛАСТИН

Zelensky A. G./Зеленський А.Г.

Engineering instruments, meters, etc. Industrial instrumentation

Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-01-046> 42

DEVICE FOR MEASURING THE DEPTH OF BURNS OF BIOLOGICAL TISSUES

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЛИБИНИ ТЕРМІЧНИХ УРАЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

Shtefura Yu.V./Штефура Ю.В., Shevchenko K.L./Шевченко К.Л.

Khimicheva G.I./Хімічева Г.І.

**Animal products., Cereals and grain. Milling industry****Технология продовольственных продуктов**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-020> 49

USE OF PLANT RAW MATERIALS FOR THE ENRICHMENT OF COTTAGE CHEESES OF ANTIOXIDANT ACTION

ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ КИСЛОМОЛОЧНИХ СИРІВ АНТИОКСИДАНТНОЇ ДІЇ

Goiko I. Yu./Гойко І.Ю., Stetsenko N.O./Стеценко Н.О.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-027> 53

PROSPECTS FOR THE PRODUCTION OF CHERRY-BEET PUREE SEMI-FINISHED FOR RESTAURANT ESTABLISHMENTS

ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА ВИШНЕВО-БУРЯКОВОГО ПЮРЕ

НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

Ushchapovskyi A.O./Ущачповський А.О.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-035> 58

RESEARCH OF DIFFERENT METHODS OF INPOSITION OF COMPOSITION PROTEIN-CARBON MIXTURE IN FARCH SYSTEM

ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНОЇ БІЛКОВО-ВУГЛЕВОДНОЇ СУМІШІ У ФАРШЕВІ СИСТЕМИ

Honcharenko T.Yu./Гончаренко Т.Ю., Torchyi O.A./Топчій О.А.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-048> 65

BREAD PRODUCTS HIGH IN BIOLOGICALLY COMPLETE PROTEIN

Sharan A.V., Makhynko V.M., Sharan L.O.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-051> 70

INVESTIGATION OF THE PRESERVATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF MINT IN DIFFERENT WAYS OF ITS DRYING

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБЕРЕЖЕНОСТІ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН М'ЯТИ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ЇЇ ВИСУШУВАННЯ

Sheiko T.V./Шейко Т.В., Tkachenko S.V./Ткаченко С.В., Kuzniestsova I. V./Кузнецова І.В.

Zajchuk L. P./Зайчук Л.П., Obodovich O. M./Ободович О.М., Sidorenko V.V./Сидоренко В.В.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-062> 77

CONTENT OF VALUABLE NUTRIENTS IN FRUITS OF LATE APPLE

ВМІСТ ЦІННИХ НУТРИЄНТІВ У ПЛОДАХ ПІЗНИХ ЯБЛУК

Voitsekhivskyi V./Войцехівський В., Biruk I./Бірук І., Kopakh V./Конах В.,

Voitsekhivska O./Войцехівська О., Vaskivska S./Васьківська С.

**Mechanical drawing. Engineering graphics****Инженерная геометрия и компьютерная графика**<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-01-017>

81

**AUTOMATION OF IMAGE ANALYSIS PROCEDURES
IN MICROSCOPIC RESEARCHES IN BIOMEDICINE****АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕДУР АНАЛІЗА ІЗОБРАЖЕНІЙ ПРИ МІКРОСКОПІЧЕСЬКИХ
ІСЛІДОВАНИХ В БІОМЕДИЦИНІ***Solomin A.V./Соломин А.В.***Building construction****Строительство и архитектура**<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-01-045>

86

MODERN VIEW ON GARDEN-PARK ARCHITECTURE**СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА САДОВО-ПАРКОВУ АРХІТЕКТУРУ***Сидорова Н.В./Sydorova N.V.,**Доценко Ю.В./Dotsenko J.V.***Industrial safety. Industrial accident prevention****Безопасность деятельности человека**<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-018>

91

**DEVELOPMENT OF THE COMPLEX FOR CARDIOPULMONARY
AUTOMATIC RESULTS MECHANICAL CONDUCTING.****РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ
РЕАНІМАЦІЇ AUTOPULS.***Vorobyov A.A./Воробйов О.М., Golova O.A./Голова О.О.,**Lazarchuk-Vorobyova J.V./Лазарчук-Воробйова Ю.В., Feldi D.A./Фелді Д.А.*<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-025>

96

IMPROVEMENT OF THE EXTRACTS OF THE ROBOTIC SURGICAL SYSTEM**ВДОСКОНАЛЕННЯ КІНЦІВОК РОБОТИЗОВАНОЇ ХІРУРГІЧНОЇ СИСТЕМИ***Vorobyov A.A./Воробйов О.М., Golova O.A./Голова О.О.**Lazarchuk-Vorobyova J.V./Лазарчук-Воробйова Ю.В., Zubritskiy V.O./Зюбрицький В.О.*<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-026>

100

**DETECTION THE BIOLOGICAL EFFECT OF RADIO WAVES FROM MOBILE
PHONES USING THE GROWTH PHYTOTEST****ВІЯВЛЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ РАДІОХВИЛЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД
МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕФОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСТОВОГО ФІТОТЕСТУ***Kundelchuk O.P./Кундельчук О.П., Ginkovskaya A.S./Гінковська А.С.**Semenyuk S.K./Семенюк С.К., Akimova M.O./Акімова М.О.*<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-040>

111

METEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE BUSHEHR NPP AREA, IRAN*Elokhin A.P./Елохин А.П., Alalem E.A./Ксенофонов А.И., Ksenofontov A.I./Алалем Е.А.*



<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-047>

134

THE SAFETY OF PRODUCTION PROCESSES
AT THE FOOD INDUSTRY ENTERPRISES

*БЕЗПЕКА ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ
ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ*

Garmash S.N./Гармаш С.М.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit11-02-052>

139

STUDY OF THE INFLUENCE OF VEHICLES ON THE STATE OF THE AIR OF
ZHYTOMYR BY THE METHOD OF LICHENOINDICATION

*ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ АВТОТРАНСПОРТУ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ
М. ЖИТОМИРА МЕТОДОМ ЛІХЕНОІНДИКАЦІЇ*

Herasymchuk O.L./Герасимчук О.Л.



International periodic scientific journal

MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und
innovative Technologien

Indexed in
INDEX COPERNICUS
high impact factor (ICV: 84.35)

Issue №11

Part 1

March 2020

Development of the original layout - Sergeieva&Co

Signed: 14.04.2020

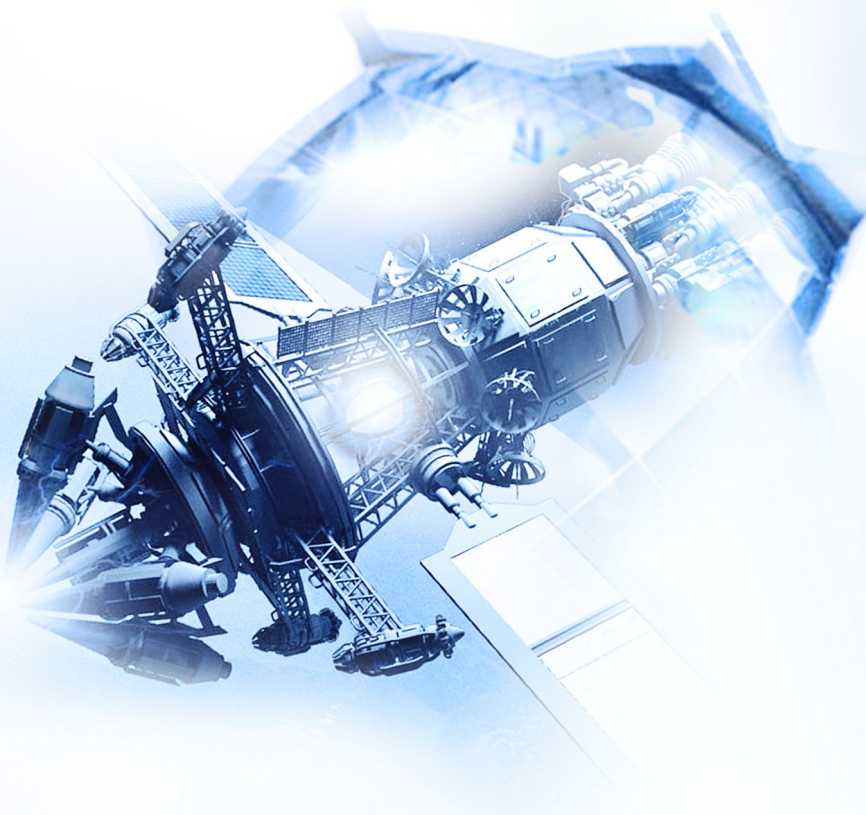
Sergeieva&Co
Lußstr. 13
76227 Karlsruhe
e-mail: editor@moderntechno.de
site: www.moderntechno.de



*The publisher is not responsible for the reliability of the
information and scientific results presented in the articles*

With the support of International research
project SWorld
www.sworld.education





www.scientifictrends.de

e-mail: orgcom@scientifictrends.de