

SCIENCE
JOURNAL

'2021



International periodic scientific journal

ONLINE

www.modscires.pro

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 100.00)

MODERN Scientific Researches

Issue №16

Part 1

June 2021



With the support of:

D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov (Bulgaria)

Institute of Sea Economy and Entrepreneurship

Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)

Ukrainian National Academy of Railway Transport

State Research and Development Institute of the Merchant Marine of Ukraine (UkrNIIMF)

Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education

Alecu Russo State University of Bălți

GUUPO "Belarusian-Russian University"

Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences

Odessa Research Institute of Communications

Published by:

Yolnat PE, Minsk, Belarus

UDC 08
LBC 94

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

Editorial board: More than 220 doctors of science. Full list on pages 3-4

The International Scientific Periodical Journal "*Modern Scientific Researches*" 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.

UDC 08
LBC 94
DOI: 10.30889/2523-4692.2021-16-01

Published by:
Yolnat PE,
Minsk, Belarus
e-mail: editor@modscires.pro

Copyright
© Authors, 2021



About the journal

The International Scientific Periodical Journal " **Modern Scientific Researches** " has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars. Today, the journal publishes authors from Russia, Ukraine, Moldova, Kazakhstan, Belarus, Czech Republic, Bulgaria, Lithuania, Poland and other countries.

Journal Established in 2018. 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 the INDEXCOPERNICUS.

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

- Averchenkov Vladimir Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Bryansk State Technical University, Russia
- Angelova Polya Georgieva, Doctor of Economic Sciences, Professor, Economic Academy D. A. Tsenova, Svishotov, Bulgaria, Bulgaria
- Animica Evgenij Georgievich, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Ural State University of Economics, Russia
- Antonov Valerij Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute", Ukraine
- Antrapceva Nadezhda Mihajlovna, Doctor of Chemical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
- Ahmadiev Gabdulahat Malikovich, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kazan (Volga) Federal University, Russia
- Bazheva Rima Chamalovna, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov, Russia
- Batyrgareeva Vladislava Stanislavovna, Doctor of Law, Research Institute for the Study of Crime Problems named after academician V. V. Stashisa NAPRN of Ukraine, Ukraine
- Bezdenzhnyh Tatyana Ivanovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Economics, Russia
- Blatov Igor Anatolevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Volga State University of Telecommunications and Informatics, Russia
- Burda Aleksey Grigorevich, Doctor of Economic Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University, Russia
- Buharina Irina Leonidovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Udmurt State University, Russia
- Bushueva Inna Vladimirovna, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Zaporizhzhya State Medical University, Ukraine
- Bykov Yuriy Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Railway Engineering, Russia
- Velichko Stepan Petrovich, Doctor of Education, Professor, Kirovograd State Pedagogical University named after Vladimir Vinnichenko, Ukraine
- Vizir Vadim Anatolevich, Doctor of Medical Sciences, Professor, Zaporizhzhya State Medical University, Ukraine
- Vozhegova Raisa Anatolevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Institute of Irrigated Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine
- Volgireva Galina Pavlovna, Candidate of Historical Sciences, assistant professor, Perm State University, Russia
- Voloh Dmitriy Stepanovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, A. A. National Medical University Pilgrim, Ukraine
- Vorozhitova Aleksandra Anatolevna, Doctor of Philology, Professor, Sochi State University, Russia
- Gavrilenko Nataliya Nikolaevna, Doctor of Education, assistant professor, Peoples' Friendship University of Russia, Russia
- Georgievskij Gennadiy Viktorovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, senior scientific employee, SE "Ukrainian Scientific Pharmacopoeia Center for the Quality of Medicines", Ukraine
- Getman Anatolij Pavlovich, Doctor of Law, Professor, National Law University named after Yaroslav the Wise, Ukraine
- Gilev Gennadiy Andreevich, Doctor of Education, Professor, Moscow State Industrial University, Russia
- Goncharuk Sergej Mironovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
- Granovskaya Lyudmila Nikolaevna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Kherson State Agrarian University, Ukraine
- Grebneva Nadezhda Nikolaevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
- Grizodub Aleksandr Ivanovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, SE "Ukrainian Scientific Center for the Quality of Medicines", Ukraine
- Gricenko Svetlana Anatolevna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Ural State Academy of Veterinary Medicine, Russia
- Gudzenko Aleksandr Pavlovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Lugansk State Medical University, Ukraine
- Demidova V. G., candidate of pedagogical sciences, assistant professor, Ukraine
- Denisov Sergej Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russia
- Dorofeev Andrej Viktorovich, Doctor of Education, assistant professor, Bashkir State University, Russia
- Dorohina Elena Yurevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, G. V. Russian University of Economics Plekhanova, Russia
- Ermagambet Bolat Toleuhovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of the Institute of Coal Chemistry and Technology LLP, Kazakhstan
- Zhovtonog Olga Igorevna, Doctor of Agricultural Sciences, Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS, Ukraine
- Zaharov Oleg Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Saratov State Technical University, Russia
- Zubkov Ruslan Sergeevich, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Nikolaev Interregional Institute for Human Development of the Higher Educational Institution "University of Ukraine", Ukraine
- Irzhi Hlahula, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, FLKR - T. Bati University, Zlin, Czech
- Kalajda Vladimir Timofeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tomsk State University, Russia
- Kalenik Tatyana Kuzminichna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Far Eastern Federal University, Russia
- Kantarovich Yu. L., Ph.D. in History of Arts, Odessa National Music Academy, Ukraine
- Kapitanov Vasilij Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Odessa National Maritime University, Ukraine
- Karpova Nataliya Konstantinovna, Doctor of Education, Professor, South Federal University, Russia
- Kafarskij Vladimir Ivanovich, Doctor of Law, Professor, Director of Science Center of Ukrainian Constitutionalism, Ukraine
- Kirilova Elena Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Odessa National Maritime University, Ukraine
- Kirichenko Aleksandr Anatolevich, Doctor of Law, Professor, Ukraine
- Klimova Natalya Vladimirovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University, Russia
- Knyazeva Olga Aleksandrovna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Bashkir State Medical University, Russia
- Kovalenko Elena Mihajlovna, doctor of philosophical science, Professor, South Federal University, Russia
- Kovalenko Petr Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine
- Kokebaeva Gulzhauhar Kakenovna, Doctor of Historical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan
- Kondratov Dmitriy Vyacheslavovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor, Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Russia
- Kopej Bogdan Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine
- Kosenko Nadezhda Fedorovna, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Ivanovo State University of Chemical Technology, Russia
- Kostenko Vasilij Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Ukraine
- Kotlyarov Vladimir Vladislavovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University, Russia
- Kochinev Yuriy Yurevich, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, St. Petersburg State Polytechnic University, Russia
- Kravchuk Anna Viktorovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Academy of the State Prison Service, Ukraine
- Kruglov Valerij Mihajlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Railway Engineering, Russia
- Kuderin Marat Krykbaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, PSU named after S. Toraiyrov, Kazakhstan
- Kurmaev Petr Yurevich, Doctor of Economic Sciences, Professor, Uman State Pedagogical University named after Pavel Tychyna, Ukraine
- Kuhar Elena Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Kazakh Agro Technical University S. Seifullina, Kazakhstan
- Lapkina Inna Aleksandrovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Odessa National Maritime University, Ukraine
- Latygina Natalya Anatolevna, Doctor of Political Science, Professor, Kiev National University of Trade and Economics, Ukraine
- Lebedev Anatolij Timofeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Stavropol State Agrarian University, Russia
- Lebedeva Larisa Aleksandrovna, candidate of psychological sciences, assistant professor, Mordovian State University, Russia
- Lipich Tamara Ivanovna, doctor of philosophical science, assistant professor, Belgorod State University, Russia
- Lotomko Denis Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Ukraine
- Lytkina Larisa Vladimirovna, Doctor of Philology, assistant professor, Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Russia
- Lyalkina Galina Borisovna, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University, Russia
- Majdanuyk Irina Zinovievna, doctor of philosophical science, assistant professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
- Makarova Irina Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan (Volga) Federal University, Russia
- Maksim Viktor Ivanovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
- Malahov A. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Ukraine
- Malceva Anna Vasilievna, Doctor of Sociology, assistant professor, Altai State University, Russia
- Melnik Alyona Alekseevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Kiev National University of Technology and Design, Ukraine
- Milyaeva Larisa Grigorevna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Biysk Technological Institute (branch) "Altai State Technical University named after I. I. Polzunova", head of the department of business economics, Russia
- Mishenina Tatyana Mihajlovna, Doctor of Education, Professor, Kryvyi Rih State Pedagogical University, Ukraine
- Mogilevskaya I. M., candidate of pedagogical sciences, Professor, Ukraine
- Moisejkina Lyudmila Guchayevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kalmyk State University, Russia
- Morozov Aleksey Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kherson State Agrarian University, Ukraine
- Morozova Tatyana Yurevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Instrument Engineering and Computer Science, Russia
- Nefedeva Elena Eduardovna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Volgograd State Technical University, Russia
- Nikolaeva Alla Dmitrievna, Doctor of Education, Professor, Northeast Federal University named after M. K. Ammosova, Russia
- Orlov Nikolaj Mihajlovich, Doctor of Science in Public Administration, assistant professor, Academy of Internal Troops of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Department of Operational Conquest of the BB, Ukraine
- Otepova Gulmira Elubayeva, Doctor of Historical Sciences, Professor, Pavlodar State Pedagogical Institute, Kazakhstan
- Pavlenko Anatolij Mihajlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Poltava National Technical University Yuri Kondratyuk, Ukraine
- Parunakyan Vaagn Emilevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Priazov State Pedagogical University, Ukraine
- Patyka Nikolaj Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, National Scientific Center "Institute of Agriculture of NAAS", Ukraine
- Pahomova Elena Anatolevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, International University of Nature, Society, and Man "Dubna", Russia
- Pachurin German Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Nizhny Novgorod State Technical University R. E. Alekseeva, Russia
- Pershin Vladimir Fedorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tambov State Technical University, Russia
- Piganov Mihail Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Queen, Russia
- Polyakov Andrej Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnitsa National Technical University, Ukraine
- Popov Viktor Sergeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Saratov State Technical University, Russia
- Popova Taisiya Georgievna, Doctor of Philology, Professor, Peoples' Friendship University of Russia, Russia
- Rastrygina Alla Nikolaevna, Doctor of Education, Professor, Kirovograd State Pedagogical University named after Vladimir Vinnichenko, I. Shevchenko, Kropyvnytskyi, Ukraine
- Rebezov Maksim Borisovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russia
- Reznikov Andrej Valentinovich, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Moscow State Technological University "Stankin", Russia
- Rokochinskij Anatolij Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Water Resources and Environmental Management, Ukraine
- Romashenko Mihail Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine
- Rylov Sergej Ivanovich, PhD in Economics, Professor, Odessa National Maritime University, Ukraine
- Saveleva Nelli Aleksandrovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Sochi State University, Russia
- Safarov Artur Mahmudovich, Doctor of Philology, Senior Lecturer, Russia
- Svetlov Viktor Aleksandrovich, doctor of philosophical science, Professor, Petersburg State University of Railway Engineering, Russia
- Semencov Georgij Nikiforovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine
- Sentyabrev Nikolaj Nikolaevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Academy of Physical Culture, Russia
- Sidorovich Marina Mihajlovna, Doctor of Education, Professor, Kherson State University, Ukraine
- Sirota Naum Mihajlovich, Doctor of Political Science, Professor, State University of Aerospace Instrumentation, Russia
- Smirnov Evgenij Ivanovich, Doctor of Education, Professor, Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky, Russia
- Sokolova Nadezhda Gennadevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Izhensk State Technical University, Russia
- Starodubcev Vladimir Mihajlovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
- Stegnij Vasilij Nikolaevich, Doctor of Sociology, Professor, Perm National Research Polytechnic University, Russia
- Stepenko Valerij Efremovich, Doctor of Law, assistant professor, Pacific State University, Russia
- Stovpev Oleksandr Vasilovich, Doctor of Philosophy, assistant professor, Odessa National Maritime University, Ukraine
- Stovpev Vasil Grigorovich, Candidate of Philology, assistant professor, Odessa National Maritime University, Ukraine
- Strelcova Elena Dmitrievna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, South Russian State Technical University (NPI), Russia



- Suhenko Yuriy Grigorevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
- Suhova Mariya Gennadevna, Doctor of Geographical Sciences, assistant professor, Gorno-Altai State University, Russia
- Tarariko Yuriy Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Ukraine
- Tarasenko Larisa Viktorovna, Doctor of Sociology, Professor, South Federal University, Russia
- Testov Boris Viktorovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Tobolsk Integrated Scientific Station, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Tobolsk, Russia
- Tokareva Natalya Gennadevna, Candidate of Medical Sciences, assistant professor, Medical Institute FSBEI HE "Moscow State University named after NP Ogarev, Russia
- Tolbatov Andrej Vladimirovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Sumy National Agrarian University, Ukraine
- Tonkov Evgenij Evgenievich, Doctor of Law, Professor, Law Institute of the National Research University Belgorod State University, Russia
- Trigub Petr Nikitovich, Doctor of Historical Sciences, Professor, Ukraine
- Tungushbaeva Zina Bajbagusovna, Doctor of Biological Sciences, Kazakh National Pedagogical University named after Abay, Kazakhstan
- Ustenko Sergej Anatolevich, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Nikolaev State University named after V O Sukhomlinsky, Ukraine
- Fateeva Nadezhda Mihajlovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Tyumen State University, Russia
- Fathova Alevtina Leontevna, Doctor of Education, assistant professor, Bashkir State University (Sterlitamak branch), Russia
- Fedorishin Dmitro Dmitrovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine
- Fedotova Galina Aleksandrovna, Doctor of Education, Professor, Novgorod State University, Russia
- Fedyanina Lyudmila Nikolaevna, Doctor of Medical Sciences, Professor, Far Eastern Federal University, Russia
- Habibullin Rifat Gabdullakhovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazan (Volga) Federal University, Russia
- Hodakova Nina Pavlovna, Doctor of Education, assistant professor, Moscow City Pedagogical University, Russia
- Hrebina Svetlana Vladimirovna, Doctor of Psychology, Professor, Pyatigorsk State Linguistic University, Russia
- Chervoniy Ivan Fedorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Zaporizhzhya State Engineering Academy, Ukraine
- Chigirinskaya Natalya Vyacheslavovna, Doctor of Education, Professor, Volgograd State Technical University, Russia
- Churekova Tatyana Mihajlovna, Doctor of Education, Professor, Russia
- Shajko-Shajkovskij Aleksandr Gennadevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernivtsi National University Y Fedkovich, Ukraine
- Shapovalov Valentin Valerevich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Kharkov Medical Academy of Postgraduate Education, Ukraine
- Shapovalov Valerij Vladimirovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Kharkiv Regional State Administration, Ukraine
- Shapovalova Viktoriya Alekseevna, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Kharkov Medical Academy of Postgraduate Education, Ukraine
- Sharagov Vasilij Andreevich, Doctor of Chemical Sciences, assistant professor, Balti State University "Alecu Russo", Moldova
- Shevchenko Larisa Vasilievna, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
- Shepitko Valerij Yurevich, Doctor of Law, Professor, National Law University named after Yaroslav the Wise, Ukraine
- Shibaev Aleksandr Grigorevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Odessa National Maritime University, Ukraine
- Shishka Roman Bogdanovich, Doctor of Law, Professor, National Aviation University, Ukraine
- Sherban Igor Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Russia
- Elezovich M Dalibor, Doctor of Historical Sciences, assistant professor, Pristina University K Mitrovica, Serbia
- Yarovenko Vasilij Vasilievich, Doctor of Law, Professor, Admiral G I Maritime State University Nevelsky, Russia
- Yacenko Aleksandr Vladimirovich, Professor, Institute of Maritime Economics and Entrepreneurship, Scientific Research Design Institute of the Marine Fleet of Ukraine, Ukraine
- Evstropov Vladimir Mikhailovich, Doctor of Medical Sciences, Professor, Russian Customs Academy, Russia
- Kononova Alexandra Evgenievna, PhD in Economics, docent, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine
- Svitlana Titova, PhD in Geography, docent, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
- Tatarchuk Tetiana, PhD in technical sciences, NU "Zaporizhzhya Polytechnic", Ukraine
- Chupakhina Svitlana Vasyliivna, PhD in pedagogical sciences, docent, Vasyly Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine
- Boiko Ruslan Vasiliovich, PhD in Economics, docent, Khmelnytsky National University, Ukraine
- Voropayeva Tetiana Sergiivna, PhD in Psychology, docent, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
- Zakharenko Natalia, PhD in Economics, Priazov State Technical University, Ukraine
- Kirkin Oleksandr Pavlovich, PhD in technical sciences, docent, Priazov State Technical University, Ukraine
- Kyianovskiy Aleksandr Moiseevich, PhD in Chemistry, docent, Kherson State Agrarian University, Ukraine
- Tharkahova Irima Grigorevna, PhD in Economics, docent, Adyghe State University, Russia
- Vitroviy Andriy Orestovych, PhD in technical sciences, docent, Ternopil National Economic University, Ukraine
- Khodakivska Olga, Doctor of Economic Sciences, senior research assistant, National Research Center "Institute of Agrarian Economics", Ukraine
- Shatkovskiy Andrii, Doctor of Agricultural Sciences, Institute of Water Problems and Melioration of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine
- Katerynchuk Ivan Stepanovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Academy of the State Border Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Ukraine
- Goncharenko Igor Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, Ukraine
- Gornostaj Oryslava Bogdanivna, PhD in technical sciences, docent, Lviv State University of Life Safety, Ukraine
- Stanislavchuk Oksana Volodymyrivna, PhD in technical sciences, docent, Lviv State University of Life Safety, Ukraine
- Mirus Oleksandr-Zenovij Lvovich, PhD in Chemistry, docent, Lviv State University of Life Safety, Ukraine
- Nashynets-Naumova Anfisa, Doctor of Law, docent, Boris Grinchenko Kyiv University, Ukraine
- Kyselov Iurii Oleksandrovych, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Uman National University of Horticulture, Ukraine
- Smutchak Zinaida Vasyliivna, Doctor of Economic Sciences, docent, Flight Academy of the National Aviation University, Ukraine
- Polenova Galina Tikhonovna, Doctor of Philology, Professor, Rostov-on-Don State University of Economics, Russia
- Makeeva Vera Stepanovna, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, Russia
- Bunchuk Oksana, Doctor of Law, docent, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine
- Gladukh Ievgenii, Doctor of Pharmacy, Professor, National University of Pharmacy, Ukraine
- Benera Valentuna, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Taras Shevchenko Regional Humanitarian-Pedagogical Academy of Kremenets, Ukraine
- Demyanenko Natalia, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Taras Shevchenko Regional Humanitarian-Pedagogical Academy of Kremenets, Ukraine
- Makarenko Andriy Viktorovich, PhD in pedagogical sciences, docent, Donbass State Pedagogical University, Ukraine
- Kharkovliuk-Balakina Natalia, PhD in biological sciences, docent, State Institution "Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Ukraine
- Chushenko Valentina Mykolajivna, PhD in pharmaceutical sciences, docent, National Pharmaceutical University, Ukraine
- Malinina Nina Lvovna, doctor of philosophical science, docent, Far Eastern Federal University, Russia
- Brukhansky Ruslan Feoktistovich, Doctor of Economic Sciences, Professor, Western Ukrainian National University, Ukraine
- Zastavetska Lesya Bogdanovna, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Ternopil National Pedagogical University named after V Gnatyuk, Ukraine
- Kalabska Vira Stepanivna, PhD in pedagogical sciences, docent, Uman State Pedagogical University named after Pavel Tychina, Ukraine
- Kutishchev Stanislav Nikolaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, VSTU, Russia
- Pikas Olha Bohdanivna, Doctor of Medical Sciences, Professor, National Medical University named after A A Bogomolets, Ukraine
- Shepel Yuri Alexandrovich, Doctor of Philology, Professor, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine
- Kuris Yuri Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Zaporizhzhya National University, Ukraine
- Kalinichenko Irina Alexandrovna, Doctor of Medical Sciences, Professor, Sumy State Pedagogical University named after A S Makarenko, Ukraine
- Kagermazova Laura Tsraevna, Doctor of Psychology, Professor, Chechen State Pedagogical Institute, Russia
- Kravchenko Olena Ivanivna, Doctor of Pedagogical Sciences, assistant professor, Luhansk National Taras Shevchenko University, Ukraine
- Redkous Vladimir Mikhailovich, Doctor of Law, Professor, Institute of State and Law of the Russian Academy of Sciences, Russia
- Evstropov Vladimir Mikhailovich, Doctor of Medical Sciences, Professor, Russian Customs Academy, Russia
- Kononova Alexandra Evgenievna, PhD in Economic Sciences, assistant professor, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine
- Svitlana Titova, PhD in Geography, assistant professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
- Tatarchuk Tetiana, PhD in Technical Sciences, Zaporizhzhya Polytechnic, Ukraine
- Chupakhina Svitlana Vasyliivna, PhD in Pedagogical Sciences, assistant professor, Vasyly Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine
- Boiko Ruslan Vasiliovich, PhD in Economic Sciences, assistant professor, Khmelnytsky National University, Ukraine
- Voropayeva Tetiana Sergiivna, PhD in Psychology, assistant professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine
- Kirkin Oleksandr Pavlovich, PhD in Technical Sciences, assistant professor, Priazovskiy State Technical University, Ukraine
- Kyianovskiy Aleksandr Moiseevich, PhD in Chemistry, assistant professor, Kherson State Agrarian University, Ukraine
- Tharkahova Irima Grigorevna, PhD in Economic Sciences, assistant professor, Adyghe State University, Russia
- Vitroviy Andriy Orestovych, PhD in Technical Sciences, assistant professor, Ternopil National Economic University, Ukraine
- Khodakivska Olga, Doctor of Economic Sciences, senior researcher, National Research Center "Institute of Agrarian Economics", Ukraine
- Shatkovskiy Andrii, Doctor of Agricultural Sciences, Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine
- Katerynchuk Ivan Stepanovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Academy of the State Border Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Ukraine
- Goncharenko Igor Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, Ukraine
- Gornostaj Oryslava Bogdanivna, PhD in Technical Sciences, assistant professor, Lviv State University of Life Safety, Ukraine
- Stanislavchuk Oksana Volodymyrivna, PhD in Technical Sciences, assistant professor, Lviv State University of Life Safety, Ukraine
- Mirus Oleksandr-Zenovij Lvovich, PhD in Chemistry, assistant professor, Lviv State University of Life Safety, Ukraine
- Belotserkovets Vladimir Viktorovich, Doctor of Economic Sciences, Professor, National Metallurgical Academy of Ukraine, Ukraine
- Lopuch Piotr Stepanovich, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Belarusian State University, Belarus
- Shvets Iryna Borysovna, Doctor of Arts, Professor, Vinnytsia State Pedagogical University named after M Kotsyubinsky, Ukraine
- Morozov Oleg Viktorovich, Doctor of Historical Sciences, assistant professor, University of Customs and Finance, Ukraine
- Vykhreshch Vira Oleksandrivna, Doctor of Pedagogy, professor, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine
- Okhrimenko Viacheslav Mykolaiovich, PhD in Technical Sciences, assistant professor, Kharkiv National University of Municipal Economy named after A M Bekeetova, Ukraine
- Podchashynskiy Yurii Oleksandrovych, Doctor of Technical Sciences, professor, Zhytomyr Polytechnic, Ukraine
- Bilavych Halyna Vasyliivna, Doctor of Pedagogy, professor, Vasyly Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine
- Hurin Ruslan Serghiyovych, PhD in Pedagogical Sciences, assistant professor, South Ukrainian National Pedagogical University named after K D Ushinsky, Ukraine
- Sukhomlinov Anatolii Ivanovich, PhD in Technical Sciences, assistant professor, Far Eastern Federal University, Russia
- Popova Julia Mikhailivna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Poltava State Agrarian University, Ukraine
- Kononenko Mykhailo Mykhaylovych, PhD in Public Administration, assistant professor, Poltavskaya raionna glad, Ukraine
- Muliar Volodymyr Ilyich, Doctor of Philosophical Science, Professor, Zhytomyr Polytechnic, Ukraine
- Yefimova Olha Mykolajivna, PhD in Pedagogical Sciences, Senior Lecturer, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
- Khymai Natalia Ihorivna, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
- Zarivna Oksana Tymofiyivna, PhD in Pedagogical Sciences, assistant professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
- Shalova Natalia Stanislavivna, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
- Mitina Lubov Sergiivna, PhD in Philology, assistant professor, Kharkiv State Academy of Culture, Ukraine
- Suima Irina Pavlivna, PhD in Philology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine



About the journal

The International Scientific Periodical Journal " **Modern Scientific Researches** " has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars. Today, the journal publishes authors from Russia, Ukraine, Moldova, Kazakhstan, Belarus, Czech Republic, Bulgaria, Lithuania, Poland and other countries.

Journal Established in 2018. 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 the INDEXCOPERNICUS.

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.



УДК 621.9.02

**ANALYTICAL DESCRIPTION OF PROCESS OF VIBRO MAGNETIC
ABRASIVE TREATMENT OF OVER HARD CERAMICS**
**АНАЛІТИЧНА ХАРКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ВІБРО-МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ
ОБРОБКИ НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ**

Burlakov V.I./Бурлаков В. І.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-1826-6486

Burlakova H.Ya./Бурлакова Г. Ю.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-1873-5518

Kudinova K.V./Кудінова К.В.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-1215-1151

Priazovsky State Technical University,

Mariupol, Universytetska, 7, 87500

Приазовський державний технічний університет,

Маріуполь, Університетська, 7, 87500

Анотація. У статті показана проблема розвитку сучасного машинобудування, яка пов'язана з розробкою і впровадженням нових матеріалів і прогресивних технологічних процесів їх обробки. Розглянуті деякі шляхи її вирішення за рахунок використання керамічних різальних пластин. Показано, що унікальні властивості кераміки дозволяють використовувати її в різних областях техніки, в тому числі, в якості різального інструменту. З'ясовано, що через високу твердість механічна обробка інструментальних композитів на основі полікристалічного кубічного нітриду бору можлива лише з використанням синтетичних алмазів. Визначено, що удосконалення способів обробки матеріалів на основі кубічного нітриду бору пов'язано з вивченням закономірностей складного багатofакторного процесу шліфування.

Ключові слова нітрид бору, механічна обробка, кераміка, різальні пластини, синтетичні алмази, композит

Вступ.

Продуктивність, якість поверхні, знос і стійкість інструменту, енергетичні витрати визначаються властивостями композиту, характеристиками алмазного інструменту, режимами і технологічними особливостями обладнання. Забезпечення високої якості поверхні різальних інструментів із полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ) – складне технічне завдання. Поряд з низькою шорсткістю, що обмежується частками мікрометрів, специфічною вимогою до композиту є відсутність дефектів поверхні у вигляді сколів, мікротріщин, мікроковерн. Оскільки керамічні матеріали є відносно крихкими, то при навантаженнях під впливом шліфувального інструменту вироби з них мають тенденцію до розтріскування. Точкове навантаження при достатньо малій пластичній деформації призводить до того, що під впливом зерен алмазу кераміка, піддаючись сильним механічним і термічним навантаженням, викришується; в результаті цього виникає дефект поверхні у вигляді борозд, ширина яких перевищує площу зіткнення алмазного зерна з матеріалом, і в областях, прилеглих до них, виникають тріщини (поздовжні,



радіальні), латеральні відколи й інші дефекти крихкого походження, що значно впливає на якість оброблених інструментів та їхню стійкість. При цьому важливим обмеженням підвищення ефективності алмазної обробки різальних композитів на основі ПКНБ є недостатньо повна розробка науково обґрунтованих процесів її шліфування, доведення, застосування мастильно-охолоджуючих рідин у взаємозв'язку з міцнісними та експлуатаційними характеристиками оброблюваної поверхні.

Основний текст.

При вібро-абразивній обробці знімання металу з оброблюваних деталей здійснюється абразивом в результаті відносного переміщення робочого середовища та деталей під дією вібрації і, наприклад, відцентрової сили або тільки вібрації. При цьому механізм знімання оброблюваного матеріалу відбувається за рахунок одночасного впливу трьох механізмів – сколювання, стирання і мікрорізання.

Сколювання відбувається при зіткненні одиничних виступів зерен абразиву з оброблюваною поверхнею; стирання відбувається при взаємному, майже паралельному переміщенні деталей і наповнювача, мікрорізання супроводжується зняттям з деталей найтонших шарів матеріалу.

З усіх зазначених вище механізмів знімання матеріалу найбільший обсяг, що видаляється, припадає на мікрорізання.

Таким чином, в основу вібро-абразивної обробки покладений процес мікрорізання, який здійснюється різальними виступами абразивних зерен, що забезпечує суттєве підвищення продуктивності. Але при вібро-абразивній обробці мають місце мікроудари, які можуть збільшити дефектність оброблюваних поверхонь інструментів із ПКНБ.

Поліпшити якість обробленої поверхні можливо за рахунок введення в зону обробки магнітного поля, яке буде формувати абразивне середовище, а вібрація - поступовий рух різальних пластин крізь абразив, забезпечуючи процес мікрорізання. Таким чином, процес мікрорізання буде відбуватися не в результаті ударів абразивних зерен по оброблюваній поверхні, а за рахунок стирання.

Робочі поверхні інструментів після такої обробки не мають мікротріщин і ризик обробки, характерних для звичайних методів механічної обробки, а являє собою однорідну зміцнену поверхню, здатну чинити опір знакозмінним навантаженням в процесі різання.

Одним із прогресивних напрямків абразивної обробки керамічних матеріалів є використання вібро-магнітно-абразивної обробки (ВіМАО). Залежно від режимів обробки потужність, що витрачається на різання при обробці, менше приблизно на 40 %, ніж при звичайному шліфуванні. Робота шліфувального круга супроводжується періодичними ударами, які сприймаються різальними зернами, розташованими на передній кромці виступу сегмента кола. Під впливом ударних навантажень відбувається викришування зерен з робочого шару шліфувального круга, і на різальних виступах формуються фронтальні ділянки, кут нахилу і протяжність яких залежать від характеристики круга, часу його роботи та режимів шліфування.



Вібро-магнітно-абразивна обробка (ViMAO) передбачає абразивне видалення припуску в присутності магнітного поля при відносному переміщенні абразивних зерен і оброблюваної поверхні. Проводити таку обробку можна із застосуванням різних абразивних середовищ: суспензій, магнітно-абразивних порошків.

ViMAO дозволяє керувати шорсткістю робочих поверхонь різальних пластин із ПКНБ з одночасним підвищенням продуктивності фінішної обробки. Обробка методом ViMAO полягає в тому, що магнітно-абразивний порошок розташовується між полюсами електромагнітів, створюючи різальне середовище, щільність якого можна варіювати, змінюючи напруженість магнітного поля. Додаючи в систему вібрації, створюється рух подачі заготовок.

При русі деталі через робочу зону порошок тисне на деталь в кожній точці її поверхні, що призводить до знімання матеріалу і згладжування мікронерівностей обробленої поверхні.

Поряд з вищесказаним важливими особливостями процесу ViMAO є також:

- можливість нівелювання абразивних зерен щодо оброблюваної поверхні;
- невеликі навантаження на абразивні зерна та відсутність температурних спалахів;
- відсутність тертя зв'язки по матеріалу деталі;
- незначне температурне навантаження на оброблюваний матеріал, що не викликає зміни структури матеріалу в локальних зонах оброблюваної поверхні і різке зменшення, в порівнянні зі шліфуванням, загальної температури різання;
- силовий вплив зерен порошку на оброблювану поверхню, дроблення елементів кристалічної решітки з утворенням більш дрібнодисперсної фази та зниження залишкових напружень.

У ролі зв'язки абразивного середовища використовується магнітне поле, що створює пружні абразивні стовпчики, які складаються з одиничних зерен. Причому, ступінь пружності цієї зв'язки легко регулюється зміною напруженості магнітного поля, забезпечуючи різні етапи обробки. Тим самим ViMAO може наближатися до шліфування вільним або зв'язаним абразивом, дозволяючи використовувати переваги першого або другого виду обробки в одному робочому циклі.

Сили різання створюються вібрацією, а величина і напрямок цих сил визначаються напруженістю і структурою поля в робочому просторі.

На величину сил різання можна впливати, змінюючи силу струму в обмотках електромагнітів, величину зазорів між деталлю і полюсами електромагніту, а також змінюючи структуру поля в робочому просторі, яка певною мірою визначається конфігурацією полюсів електромагнітів і розмірами міжполюсного простору.

Розглянемо розташований навколо оброблюваної зони статор, що генерує магнітне поле, включений в розрядний ланцюг генератора імпульсних струмів з ємнісним накопичувачем енергії. На рис. 1 представлений 2-D меридіональний



розріз Ω означеної системи. Псевдотвердий провідний, пружний робочий шар (область Ω_0) знаходиться в геометрично подібній формі циліндру висотою $H = 100$ мм і діаметром 50 мм, навколо якого розміщений статор (область Ω_s) зі змінною кількістю витків S (кожен виток представлений токопровідною областю Ω_k), що дозволяє застосувати для математичного опису циліндричну систему координат (r, θ, z) . Проміжок між поверхнею і плоским статором h вільно варіюється. Статор має постійний зовнішній діаметр $2R = 80$ мм і виконаний із навитого мідного дроту діаметром $2r_{Cu} = 2$ мм. Витки статора моделюються колами. Значення провідності σ оброблюваного середовища приймемо рівним $3,8 \cdot 10^6$ См/м [1].

Для опису електромагнітних процесів, що протікають при ВіМАО, використовуються рівняння Максвелла для квазістаціонарного електромагнітного поля (1):

$$\frac{d\vec{B}}{dt} + \text{rot}\vec{E} = 0 \quad (1)$$

$$\text{div}\vec{B} = 0$$

$$\text{div}\vec{D} = 0$$

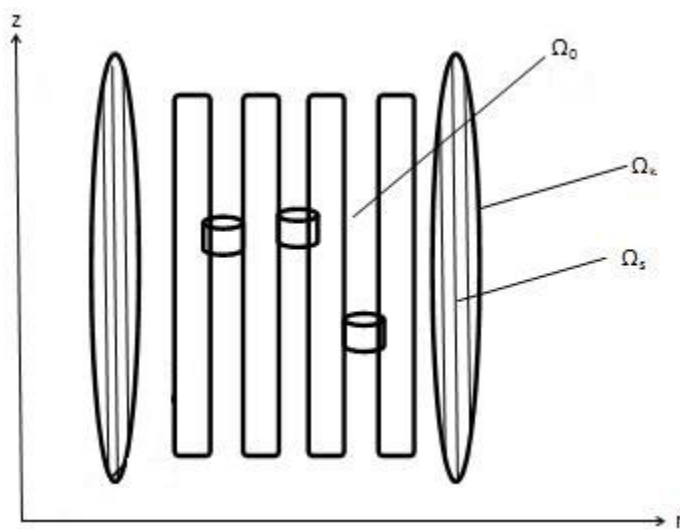


Рисунок 1 - Геометрична модель процесу ВіМАО

де: $\vec{H}$ – напруженість магнітного поля, А/м;

$\vec{j}$ – щільність струму, А/м²;

$\vec{E}$ – напруженість електричного поля, А/м;

$\vec{B}$ – індукція магнітного поля, Тл;

$\vec{D}$ – електрична індукція, Кл/м.

Кожен елемент області Ω характеризується своєю щільністю струму, яка визначається з виразу (2):



$$\vec{j} = \begin{cases} \sigma \vec{E} + \sigma \vec{v} \vec{B}; B\Omega/\Omega_s, \\ \vec{j}_s; B\Omega_s, \end{cases} \quad (2)$$

де: $\vec{v}$ – швидкість руху оброблюваних зразків, м/с;

$\vec{j}_s$ – щільність струму збудження, що протікає по індукції з кількістю витків S , А/м².

Враховуючи, що $\text{div} \vec{B} = 0$, в подальших розрахунках можна використовувати векторний магнітний потенціал $\vec{A}(\vec{B} = \text{rot} \vec{A})$ (3), який в осесиметричній системі так само, як магнітне поле і щільність, буде мати тільки одну тангенціальну компоненту [2] A_θ (4):

$$-\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{\mu r} \frac{\partial \vec{A}_\theta}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \vec{A}_\theta}{\partial z} \right) = \vec{j}_s \quad (3)$$

$$\vec{j} = \begin{cases} \sigma \frac{\partial \vec{A}_\theta}{\partial t} - \vec{v}_r \frac{1}{r} \frac{\partial \vec{A}_\theta}{\partial r} - \vec{v}_z \frac{\partial \vec{A}_\theta}{\partial z}; B\Omega/\Omega_s, \\ \vec{j}_s^0; B\Omega_s, \end{cases} \quad (4)$$

де: μ – магнітна проникність.

Об'ємна електромагнітна сила, що діє на абразивне середовище, $\vec{F}_{\text{ем}}$ і щільність наведеного струму $\vec{j}_{\text{ind}}$ визначаються виразами (5) і (6):

$$\vec{F}_{\text{ем}} = \vec{j}_{\text{ind}} \vec{B} \quad (5)$$

$$\vec{j}_{\text{ind}} = -\sigma \left(\frac{\partial \vec{A}_\theta}{\partial t} \right) \quad (6)$$

Відповідна нормальна компонента магнітного тиску $P_{\text{ем}}$ (7) визначається шляхом інтегрування по товщині скін-шару Δ (8):

$$P_{\text{ем}} = \int_0^\Delta F_{\text{ем}} dz \quad (7)$$

$$\Delta = (1/\mu_0 \mu \sigma \omega_k)^{-1/2} \quad (8)$$

де: μ_0 – магнітна постійна, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

ω_k – кругова частота імпульсу струму, рад·с⁻¹.

Закон зміни сили струму, що протікає по обмотці статора, задано у вигляді затухаючої синусоїди, яка адекватно описує коливальний характер розрядного імпульсу (9):

$$I_\theta^s(t) = \frac{U_0}{\sqrt{\frac{L}{C}}} e^{\left(-\frac{R_k}{2L}\right)t} \sin(\omega_k t) \quad (9)$$

де: R_k – активний опір розрядного контуру, Ом;

U_0 – початкова напруга, В;



C – ємність конденсатора, Ф;

L – індуктивність, Гн.

При цьому множнику задається максимальне амплітудне значення сили струму збудження в імпульсі. За рахунок тиску в робочій зоні виникне деформація об'ємного стиснення ε , значення якої можна оцінити, як (10):

$$\varepsilon = P_{\text{зм}} / K \quad (10)$$

де: K – коефіцієнт об'ємного стиснення робочої зони (величина, зворотна стисливості).

Значення швидкості деформації ε можна оцінити за формулою (11):

$$\varepsilon = \frac{2P_{\text{зм}}}{K\pi\sqrt{LC}} \quad (11)$$

Хвильова картина в робочій зоні буде залежати від співвідношення висоти H робочої зони і характерної довжини хвилі λ . Зауважимо, що поширення вглиб робочої маси хвилі від такого «поршня», який має середній радіус R , а в поперечнику представляє смугу величини $2r_{Cu}$, буде здійснюватися в деякій області, обмеженій кутом $\sim 60^\circ$. Досягнувши протилежної стінки, хвиля відіб'ється, не змінивши знак. У разі висоти робочої маси $H < \lambda$ отримаємо ситуацію, коли весь обсяг робочої маси певний час буде перебувати в стані квазістатичного стиснення [3]. Математичний опис такого стану розплаву пов'язаний з певними труднощами, тому внесок хвиль тиску в зміну його стану, так само як і інших додаткових механізмів, в рамках роботи не розглядається.

Переймаючись постійним значенням $U_0 = 380\text{В}$ і для початку невеликим значенням $C = 2,5$ мкФ, вирішуючи рівняння чисельно в пакеті мультифізичного моделювання Femlab, визначимо значення сили $F_{\text{ем}}$, тиску $P_{\text{ем}}$ і швидкості деформації ε з урахуванням впливу розміщення індуктора і кількості його витоків.

Результати дослідження.

Амплітудні значення об'ємної електромагнітної сили, тиску, швидкості деформації зменшуються і зі зменшенням магнітної індукції. Так, електромагнітна сила, створювана при магнітній індукції в 0,95 Тл, дасть слабкий результат при обробці; електромагнітна сила, створювана при магнітній індукції в 1,2 Тл, найбільш оптимальна; електромагнітна сила, створювана при магнітній індукції в 1,45 Тл, зупинить процес. Приблизно так само співвідносяться значення тиску.

Таким чином, для ефективної і рівномірної обробки різальних композитів із ПКНБ методом ВіМАО необхідно створити магнітну індукцію в 1,2 Тл і тиск в робочій зоні в 75 Н/м.

Висновки.

1. Запропоновано подальший розвиток фінішної обробки поверхонь різальних композитів за рахунок використання процесу вібро-магнітно-абразивної обробки. Поліпшити якість обробленої поверхні композитів із ПКНБ можливо за рахунок введення в зону обробки магнітного поля, яке буде формувати абразивне середовище, а вібрація - поступовий рух різальних



пластин крізь абразив, забезпечуючи процес мікрополірування. Таким чином, процес мікрорізання буде відбуватися не в результаті ударів абразивних зерен по оброблюваній поверхні, а за рахунок стирання.

2. На основі рівняння Максвелла створено аналітичну модель, що описує електромагнітні процеси, які відбуваються при ВіМАО. На основі даної моделі розраховано значення сили $F_{\text{ем}}$, тиску $P_{\text{ем}}$ і швидкості деформації ε з урахуванням впливу розміщення індуктора і кількості його витоків. Встановлено, що для ефективної обробки методом ВіМАО необхідно створити магнітну індукцію в 1,2 Тл і тиск в робочій зоні в 75 Н/м.

Список використаних джерел:

1. Slipchenko K. Investigation of the mechanical properties and cutting performance of cBN-based cutting tools with Cr₃C₂ binder phase / K. Slipchenko, I. Petrusha, V. Turkevich, J. Johansson, V. Bushlya, Jan-Eric Ståhlb // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 72. – pp. 1433-1438.
2. Sumiya H. Mechanical properties of nano-polycrystalline cBN synthesized by direct conversion sintering under HPHT / Sumiya H., Harano K., Ishida Y. // *Diamond and Related Materials*. – 2014. – vol. 41. – pp. 14-19.
3. Мельнічук Ю.О. Високошвидкісне точіння деталей з загартованих сталей інструментами, що оснащені матеріалами на основі кубічного нітриду бору / Ю.О. Мельнічук, І.А. Петруша, С.А. Клименко та ін. // *Інструментальний світ*. – 2015. – № 1–4(61–64). – С. 13–15.

References.

1. Slipchenko K. Jan-Eric Ståhlb (2018) Investigation of the mechanical properties and cutting performance of cBN-based cutting tools with Cr₃C₂ binder phase. *Procedia CIRP*, 1433-1438.
2. Sumiya H. (2014) Mechanical properties of nano-polycrystalline cBN synthesized by direct conversion sintering under HPHT. *Diamond and Related Materials*, 14-19.
3. Melniychuk Ya. Ya. (2015) Vysokoshvydkisne tochinnya detaley z zahartovanykh staley instrumentamy, shcho osnashcheni materialamy na osnovi kubichnoho nitrydu boru. [High-speed sharpening of details from hard-tempered сталей instruments that is equipped by materials on the basis of cube nitride of the coniferous forest]. *Instrumental world*, pp 13–15.

Abstract The problem of development of modern engineer is in-process shown, that is related to development and introduction of new materials and progressive technological processes of their treatment. Some ways of her decision are considered due to the use of ceramic cutting plates. It is shown that unique properties of ceramics allow to use it in the different areas of technique, including, as a toolpiece. It is found out that from high hardness tooling of instrumental compos on basis poly crystalline cube nitride of the coniferous forest possible only with the use of synthetic diamonds. Certainly, that the improvement of methods of treatment of materials on the basis of cube nitride of the coniferous forest is related to the study of conformities to law of difficult multivariable process of polishing.

Keywords boron nitride, machining, ceramics, cutting plates, synthetic diamonds, composite

Статья отправлена: 11.06.2021 г.
©Бурлаков В.И., Бурлакова Г.Ю., Кудинова Е.В.



УДК 621.791

OPTIMIZATION OF PLASMOTRON COOLING SYSTEM FOR SURFACE MODIFICATION AND NANOSTRUCTURING

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛАЗМОТРОНУ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОЇ МОДИФІКАЦІЇ І НАНОСТРУКТУРУВАННЯ

Mazur V. / Мазур В.А.

с. т. с., as. prof / к. т. н., доц.

ORCID: 0000-0003-1935-1938

Pryazovskyi State Technical University, str. 7 University, Mariupol
ДВНЗ Приазовський державний технічний університет
вул. Університетська 7, м. Маріуполь

Анотація. Робота спрямована на дослідження питань оптимізації системи охолодження плазмотрону непрямої дії з секціонованою міжелектродною вставкою. Проаналізовано параметри, що впливають на ефективність плазмотронів. Визначено критерії оптимізації системи охолодження. Вплив струменя плазми заданої потужності на максимальну температуру нагрівання безперервної міжелектродної вставки розраховували за допомогою аналізу кінцевих елементів.. Дано рекомендації з вибору конструкції міжелектродної вставки плазмотрону.

Ключові слова: плазма, міжелектродна вставка, нагрів, охолодження, ефективність, модель, елемент, експлуатація

Вступ.

Різноманітність вимог, що пред'являються до плазмотронів обумовлена широкою областю їх застосування. Технологічний цикл плазмового поверхневого модифікування і наноструктурування вимагає як забезпечення достатньої потужності плазмового струменя, так і можливості тонкого регулювання енергетичними процесами поверхневого впливу. Важливим завданням є створення конструкцій плазмотронів побічної дії, що дозволяють здійснювати це в широких діапазонах питомих потужностей.

Основний текст

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Відомі роботи, що приділяють увагу оптимізації конструктивних параметрів плазмотронів з точки зору розширення їх технологічних можливостей [1, 2]. В роботах [3, 4] розглянуто вплив конструктивних параметрів плазмотронів на властивості плазмового струменя, та сформульовані принципи побудови технологічних систем плазмової обробки. В роботах [5 – 8] автори приділили увагу конструктивним засобам стабілізації плазмового потоку. Але ефективність плазмотрону та розширення його технологічних можливостей на сам перед пов'язано з оптимізацією конструкції системи охолодження, яка в свою чергу впливає на потужність плазмотрону та його ККД.

Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Одним з аспектів створення плазмотрона оптимальної конструкції є знаходження балансу ефективної системи охолодження і максимального коефіцієнта корисної дії генератора плазмового струменя.



Матеріали і методи дослідження

Розрахунок системи охолодження катода виконується виходячи з умови відсутності кризи кипіння на зовнішній поверхні обойми радіуса r_1 при проходженні через катод кількості теплоти Q_k

$$q_w = \frac{Q_k}{2\pi r_1^2} \quad (1)$$

Необхідна швидкість охолоджуючої води в зазорі сорочки охолодження катода визначає число Рейнольдса і характер режиму теплообміну (конвективного або бульбашкового) для обраних умов. Оскільки критерій Рейнольдса прямо пропорційний швидкості потоку рідини і гідравлічному діаметру зазору в сорочці охолодження

$$Re_{ж} = \frac{V_{\delta} \cdot d_z}{\nu} \quad (2)$$

де $d_z = 2\delta_b$ – гідравлічний діаметр; δ_b – величина зазору; ν – в'язкість води.

Величина зазору δ_b визначається з рівняння:

$$\delta_b \geq \frac{G_{\delta}}{2\pi r_{tr} \rho V_{\delta}} \quad (3)$$

де ρ – щільність води; r_{tr} – радіус трубки

Після чого визначаються критерії Рейнольдса, Нуссельта і Прандтля для уточнення величини температури охолоджувальної поверхні стінки анода і перевірки режиму її охолодження визначаються значення визначальних критеріїв $Re_{ж}$, $Nu_{ж}$, $Pr_{ж}$.

Критерій Нуссельта є вихідним при визначенні коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{ж} = \frac{Nu_{ж} \cdot \lambda_{ж}}{d_z} \quad (4)$$

Після чого визначається платність теплового потоку, відповідну початку кипіння

$$q_{нк} = \alpha_{ж} (t_{вн} - t_f) \quad (5)$$

Існуючі конструкції плазмотронів побічної дії з секціонованими міжелектродними вставками конструктивно передбачають дроблення потоку охолоджуючого середовища, внаслідок чого створюється безліч гідравлічних опорів, що призводять до формування турбулентних потоків, що, в свою чергу, знижує конвективну складову теплообміну і збільшує бульбашкову (рис. 1, а). Наявність декількох вставок ускладнює розподіл охолоджуючого середовища між ними, створює додаткові труднощі при розрахунку конструктивних елементів. Для вирішення даної проблеми необхідно кардинально змінювати конструкцію міжелектродних вставок, переходячи від обойм з індивідуальним охолодженням до суцільних вставок, які охолоджуються єдиним потоком.

Одним з варіантів вирішення даного завдання є створення спіральних вставок (рис. 1, б). Спіральна вставка повинна забезпечити більш рівномірну та однорідну подачу охолоджувальної рідини. З'являється можливість прибрати з конструкції плазмотрону велику кількість місцевих гідравлічних опорів.



Для визначення ефективності безперервної міжелектродної вставки необхідно виконати перевірку системи охолодження за існуючими критеріями.

Метод скінченних елементів (МСЕ) в даний час є провідним при вирішенні лінійних і нелінійних теплових задач за допомогою чисельних алгоритмів. Популярний свого часу метод кінцевих різниць, і метод граничних елементів втратили свої позиції, обмежені дослідними або спеціальними завданнями. МСЕ зайняв лідируюче положення завдяки можливості моделювати широке коло нестационарних задач. Абсолютна більшість конструктивних елементів, вузлів і конструкцій, виготовлених з найрізноманітніших матеріалів, що мають різну природу, можуть бути розраховані за допомогою МСЕ.

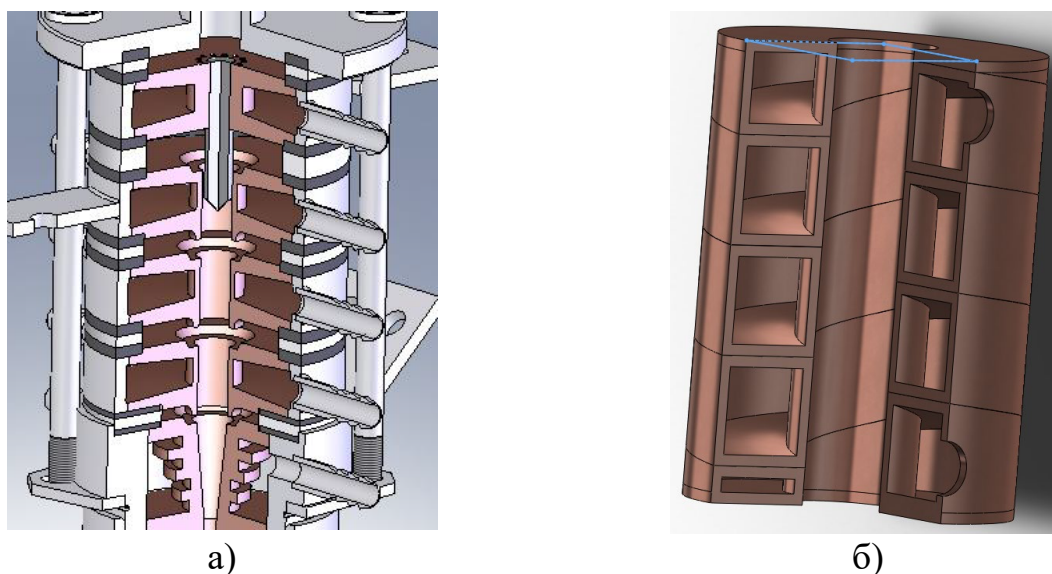


Рис. 1. Конструкції міжелектродних вставок: а) обойменна, б) суцільна.

Безперервну вставку розбиваємо на кінцеві елементи в формі тетраедрів. Форма елементів вибирається відповідно до геометрією аналізованого тіла. Застосування кубічних елементів в разі аналізу циліндричного тіла в додатковими отворами не бажано, оскільки викликає виникнення конфліктів при розрахунку. Для попередніх розрахунків приймаємо розбивку на 9272 елемента (рис. 2).

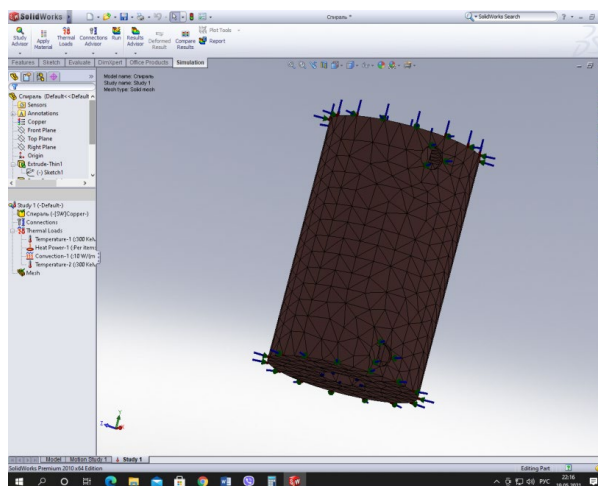
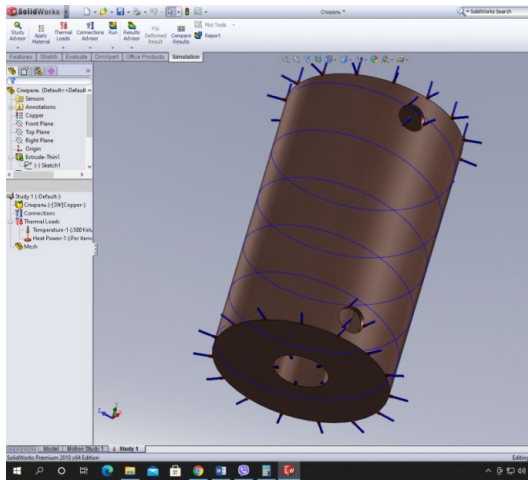


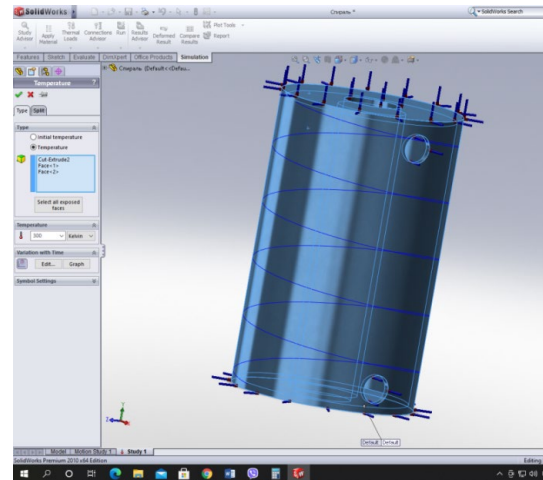
Рис.2. Побудова геометричної моделі безперервної вставки.



Після побудови геометричної моделі проводиться теплове навантаження і формування початкових і граничних умов (рис. 3, а), а так же задається характер теплообміну з навколишнім середовищем (рис. 3, б).



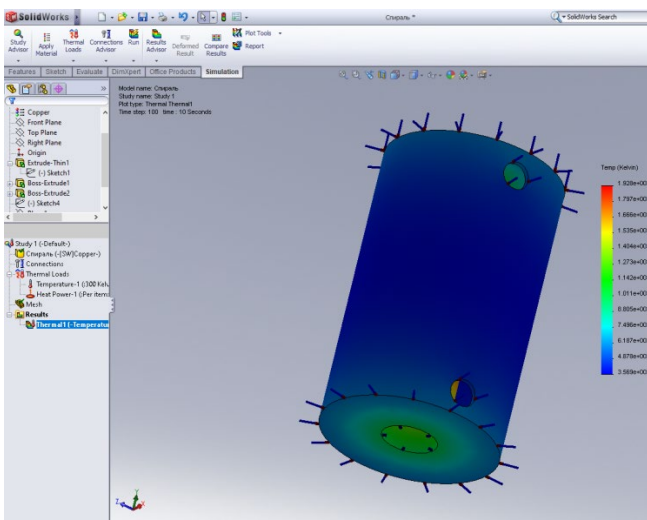
а)



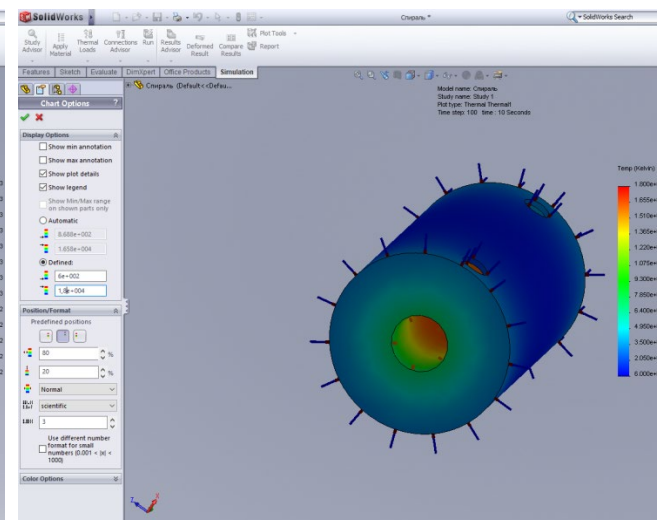
б)

Рис. 3. Створення фізичної моделі: а - формування теплових навантажень, б - визначення теплообміну з навколишнім середовищем.

В результаті кінцево-елементного моделювання отримуємо розподіл температур охолоджуючої середовища і матеріалу міжелектродної вставки (рис. 4, а). Розрахунки показують, що застосування безперервної подачі охолоджуючої середовища дозволяє забезпечити рівномірний розподіл теплових потоків від плазмоведучого каналу до охолоджуваної вставки. При дотриманні умови формування ламінарного потоку і конвективного теплообміну.



а)



б)

Рис. 4. Результати моделювання: а – розподіл температур матеріала вставки, б – зміщення температурного екстремуму.

Витрата охолоджуючого середовища зменшується в 2 рази в порівнянні з класичною вставкою при зниженні площі поперечного перерізу охолоджуючого



каналу в 1,5 рази. Змінюючи напрямок подачі охолоджуючого середовища можна варіювати положенням температурного максимуму на внутрішній поверхні вставки, зміщуючи його в напрямку катода (рис. 4, б). Це є додатковим фактором, який дозволяє зменшувати габаритні розміри вставки, або знижувати витрати охолоджуючого середовища.

Висновки

Чисельне моделювання системи охолодження плазмотрона непрямої дії дозволяє визначити характер потоку і граничні умови для вирішення тривимірної задачі розподілу теплового потоку. Було встановлено, що використання безперервного охолоджуючого потоку дозволяє отримати ламінарний плин по всій його довжині з переважно конвективним теплообміном.

Результати моделювання дозволяють визначити геометричні параметри вставки і витрати рідини, які забезпечують оптимальне охолодження. Отримано усереднені в часі значення потужності теплового потоку.

Литература.

1. Фролов В.Я. Электротехнологические промышленные установки. / В.Я.Фролов, С.В.Дресвин, А.А.Лисенков// СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2010. 752 с.
2. Аньшаков А.С. Исследование массообмена дуги, стабилизированной вихрем, с окружающим газом / А.С.Аньшаков, М.Ф.Жуков, В.А.Косинов, В.А.Рудакова, А.И.Янковский // Генераторы низкотемпературной плазмы: VII всесоюз. конф.: Алма-Ата, 1977. Т. 1. С. 179–182.
3. Дзюба В.Л. Фізика, техніка та застосування низькотемпературної плазми : монографія / В.Л. Дзюба, К.А. Корсунов. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2007. – 448 с.
4. Самотугін С.С. Оптимизация конструкции плазмотрона для поверхностной модификации стальных изделий. / С.С.Самотугін, В.О.Гагарін, В.О.Мазур // Вісник Приазовського державного технічного університету. серія: Технічні науки. – 2017. – вип. 35. – С. 104 – 109.
5. Белов И.А. Моделирование турбулентных течений. / И.А.Белов, С.А.Исаев // СПб.: Изд-во Балт. гос. техн. унта, 2001. 108 с.
6. Мурашов Ю.В. Моделирование вихревой стабилизации дугового плазмотрона // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2016. – 2(243). – С.53 – 60.
7. Красников Г.Е. Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics. / Г.Е. Красников, О.В. Нагорнов, Н.В. Старостин // М.: Изд-во НИЯУ МИФИ, 2012. 184 с.
8. Оковитый В. А. Плазмотрон для нанесения покрытий. / В. А. Оковитый, Ф. И. Пантелеенко, В. В. Оковитый, В. М. Асташинский // Наука и техника. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 5 – 10.

References.

1. Frolov V.Ya. Electrotechnological industrial installations. / V.Ya. Frolov, S.V. Dresvin, A.A. Lysenkov // SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2010. 752 s.



2. Anshakov AS Investigation of vortex-stabilized arc mass transfer with ambient gas / AS Anshakov, MF Zhukov, VA Kosinov, VA Rudakova, AI Yankovsky // Low-temperature plasma generators: VII All-Union. Conf. : Alma-Ata, 1977. T. 1. S. 179–182.
3. Dziuba VL Physics, technique and application of low-temperature plasma: monograph / V.L. Dziuba, K.A. Корсунов. - Luhansk: SNU Publishing House. V. Dalya, 2007. - 448 p.
4. Samotugin SS Optimization of plasmatron design for surface modification of steel products. / SS Samotugin, VO Gagarin, VO Mazur // Bulletin of the Azov State Technical University. series: Technical sciences. - 2017. - issue. 35. - P. 104 - 109.
5. Belov IA Modeling of turbulent flows. / IA Belov, SA Isaev // SPb. : Izd-vo Balt. state tech. unta, 2001. 108 p.
6. Murashov Yu.V. Modeling of vortex stabilization of an arc plasmatron // Scientific and Technical Gazette of St. Petersburg State Polytechnic University. - 2016. - 2 (243). - P. 53 - 60.
7. Krasnikov GE Modeling of physical processes using the Comsol Multiphysics package. / G.E. Красников, O.B. Nagornov, NV Starostin // М. : Izd-vo NIAU MIFI, 2012. 184 s.
8. Okovityy VA Plasmatron for coating. / VA Okovity, FI Panteleenko, VV Okovity, VM Astashinsky // Science and Technology. - 2019. - T. 18, № 1. - S. 5 - 10.

Abstract. *The work is aimed at studying the optimization of the cooling system of the indirect-acting plasmatron with a sectioned electrode insert. The parameters influencing the efficiency of plasmatrons are analyzed. Criteria for optimizing the cooling system are determined. The influence of the plasma jet of a given power on the maximum heating temperature of a continuous interelectrode insert was calculated with the help of a finite element analysis. Recommendations for the choice of the design of the interelectrode insert of the plasmatron are given.*

Keywords: *plasma, interelectrode insert, heating, cooling, efficiency, model, element, operation.*



ANALYSIS OF THE MARKET OF PRODUCTION OF FOOD POWDER FROM VEGETABLE RAW MATERIALS

АНАЛІЗ РИНКУ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПОРОШКІВ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Burlaka T.V. / Бурлака Т.В.

s.t.s. / к.т.н., ст. викладач

ORCID: 0000-0002-2877-7386

National University of Food Technologies, Kyiv, Vladimirskaya, 68, 01601

Національний університет харчових технологій,

м. Київ, вул. Володимирська 68, 01601

Анотація. Запропоновано виробництво нових функціональних харчових порошків, внаслідок чого продукція зберігає в собі переважну частину поживних речовин, а саме таких як велику кількість клітковини, що є незамінною для нашого організму, амінокислоти, особливі ферменти, які розщеплюють жири, ефірні масла, вуглеводи і білок. Харчові порошки можуть бути використанні, як сировина для кондитерських, хлібобулочних, молочних виробів, продуктів швидкого приготування, виробництва таблеток та гранул, трав'яних чаїв.

Ключові слова: сушіння, порошок, виробництво, зберігання, біологічно активні речовини.

Вступ.

Харчування є одним з основних факторів, що визначають здоров'я населення. Державна політика в сфері здорового харчування населення України спрямована на забезпечення екологічної безпеки та якості харчових продуктів. Структура харчування в Україні характеризується зниженням споживання найбільш біологічно цінних продуктів, відзначається дефіцит повноцінних білків, поліненасичених жирних кислот, вітамінів, мінеральних речовин при надмірному споживанні продуктів багатих на вуглеводи. В даний час з'являється потреба і можливість створення продуктів, які дозволили б заповнити раціон харчування людини відсутніми речовинами, і в разі щоденного споживання сприяти поліпшенню здоров'я.

Продукти здорового харчування не є ліками і не можуть надавати лікувальну дію на організм, але сприяють профілактиці хвороб, продовження життя, створення умов для збільшення здатності організму чинити опір до негативних впливів навколишнього середовища, забезпечує нормальний ріст і розвиток дітей. Створення «збагаченого» харчування-світова тенденція, що отримала офіційне визнання і в Україні. Науковому підходу до цієї проблеми надають дослідження в області хімії, біохімії, нутриціології, дієтологами і т.д.

На сьогоднішній день значна частина сировини, яка використовується для виробництва харчових продуктів, переобтяжена засвоюваними вуглеводами, і тому ці продукти мають низьку біологічну цінність, малий вміст вітамінів і підвищену калорійність.

Внаслідок цьому зростає роль продуктів багатих на біологічно активні речовини. Особливістю сушених порошків є те, що продукція зберігає в собі переважну частину поживних речовин, а саме таких як велику кількість клітковини, що є незамінною для нашого організму, амінокислоти, особливі



ферменти, які розщеплюють жири, ефірні масла, вуглеводи і білок.

Матеріали та методи досліджень.

На підставі аналітичного огляду літератури проведено теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів.

Результати та обговорення.

Особливо актуально виникає питання, пов'язане з розширенням кількості продуктів з використанням місцевих та нетрадиційних типів сировини, з метою збільшення харчової цінності та ефективності технологічного способу приготування, зменшення енергетичної цінності, підвищення якості, біологічної цінності, при цьому мають смакові переваги в порівнянні з традиційною рецептурою виготовлення.

Несприятлива екологічна обстановка, надмірні стреси, екстремальні фізичні навантаження і неправильне харчування з дефіцитом найважливішим поживних речовин в організмі людини створюється дефіцит внутрішніх резервів, необхідних для підтримки гомеостазу основних функціональних органів і систем. Механізми компенсації напружених збитків вимагають введення екзогенних коректорів - біологічно активних добавок, позитивний ефект на організм людини яких може бути підтверджений експериментальними і клінічними випробуваннями.

Серед найбільш затребуваних добавок виділяють рослинні біологічно активні добавки, що вводяться в рецептури харчових продуктів загального та профілактичного значення. Нові технології на основі застосування рослинних харчових біологічно активних добавок дозволяють зменшити витрати на розширення асортименту продуктів із заданими властивостями. Особливістю порошкоподібного напівфабрикату з рослинної сировини є те, що продукція зберігає в собі переважну частину поживних речовин.

Серед відомих способів сушіння найчастіше використовують в харчовій промисловості конвективний, кондуктивний та терморадіаційний.

Традиційно використовуваний конвективний спосіб сушіння рослинної сировини має ряд недоліків: висока температура сушильного агента, тривалість процесу і значна енергоємність.

До недоліків терморадіаційного сушіння відносять те, що енергія ІЧ-випромінювання поглинається в основному поверхнею матеріалу, що висушується, і щоб не допустити його розтріскування і деформацію доводиться зменшувати кількість енергії, що підводиться. Погіршує ці ж показники і безперервне підведення енергії ІЧ-випромінювання, що створює градієнт температур, під впливом якого волога переміщується всередину матеріалу.

У зв'язку з цим перспективним і економічно доцільним напрямком отримання зневоднених продуктів вважається спосіб комбінованого сушіння, що забезпечить значне підвищення інтенсивності процесу, економію електроенергії і покращення якості продуктів.

Розвиток теорії, техніки і технології тепломасообмінних процесів підготував умови для наукового підходу до розробки нових способів сушіння і раціональних конструкцій сушильних установок, що забезпечать найменші втрати теплоти і електроенергії.



Узагальнення аналітичних та експериментальних досліджень з обґрунтуванням технологічних параметрів дозволило розробити принципову технологічну схему виробництва порошкоподібного напівфабрикату з рослинної сировини (рис. 1).

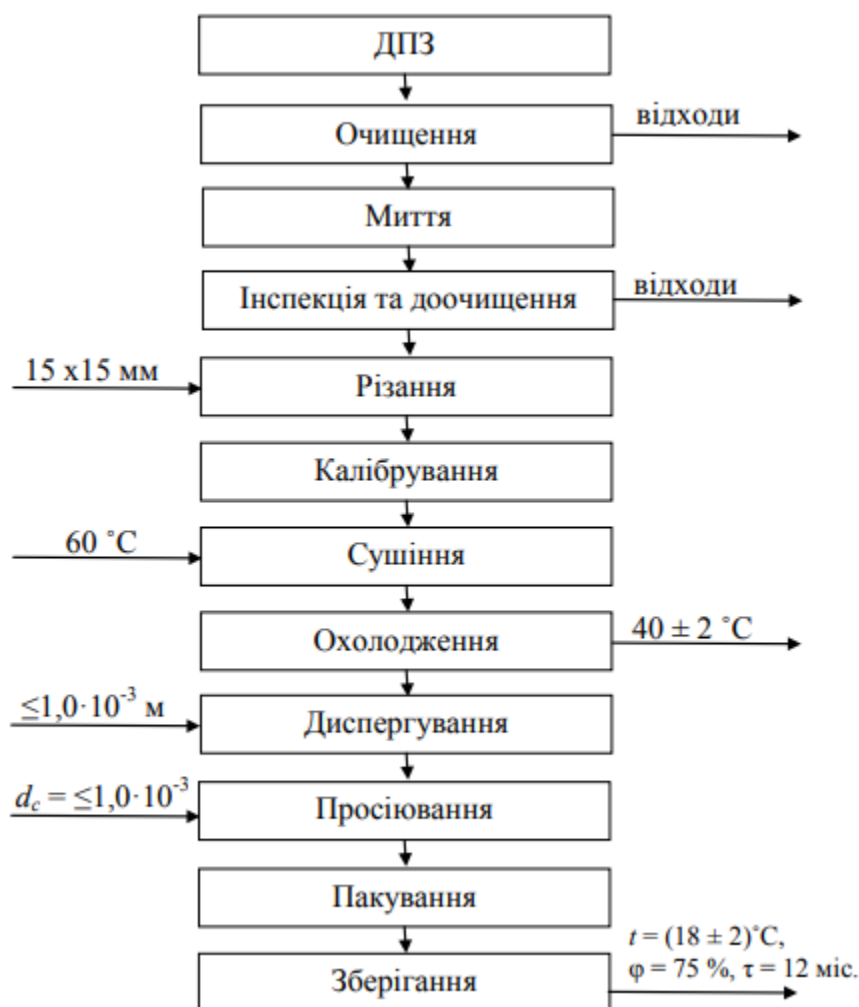


Рис. 1. Принципова технологічна схема виготовлення порошкоподібного напівфабрикату з рослинної сировини.

Рослинну сировину, яка надходить на переробку, перед миттям та оглядом потрібно аналізувати на наявність у ній шкідливих домішків. Враховуючи високий ступінь окиснення антиоксидантів, потрібно інтенсифікувати процес переробки сировини, яка містить велику кількість цих інгредієнтів. Слід також враховувати, комбінуючи різну рослинну сировину, взаємодію вітамінів між собою, яка може призводити до прискорення розщеплення одного або кількох вітамінів у харчовому продукті.

На рис.2. наведена апаратурно-технологічна схема виробництва порошкоподібного напівфабрикату з рослинної сировини.

Сушіння рослинної сировини здійснюється за допомогою радіаційно-конвективної сушарки періодичної дії (поз. 8) [1].

Додатково проводять калібрування для того, щоб відділити дрібні шматочки, які утворилися під час різання. Відбувається дана операція шляхом просіювання на ситі з діаметром отворів 5 мм (поз. 7).



Сушений порошок зберігають у чистих, сухих, добре вентильованих складських приміщеннях за температури від 0 °С до 18 °С і відносної вологості повітря не більше ніж 75 %.

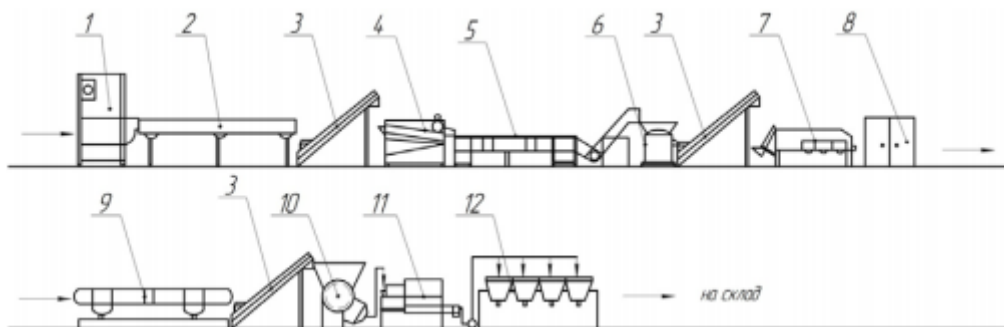


Рис.2. Технологічна схема виробництва порошкоподібного напівфабрикату з рослинної сировини: 1 – контейнероперекидач; 2 – інспекційний транспортер; 3 – похилий транспортер; 4 - вібраційна мийна машина; 5 – транспортер; 6 – овочерізка; 7 - калібрувач; 8 - радіаційно-конвективна сушильна установка; 9 - сортувальний стрічковий конвеєр; 10 - подрібнювач; 11 – просіювач; 12 - фасувально-пакувальний автомат.

Висновок. Додавання рослинних порошоків у продукти харчування є перспективним методом створення профілактичних продуктів. Вони можуть бути сировиною для кондитерських, хлібобулочних, молочних виробів, продуктів швидкого приготування, виробництва таблеток та гранул, трав'яних чаїв. Із широкого асортименту продуктів харчування споживач зазвичай вибирає ті, що мають такі властивості, як натуральність, користь для здоров'я, високі смакові якості, зручність у використанні. Всім цим вимогам відповідають функціональні рослинні порошки, що свідчить про перспективність застосування їх на практиці.

Список літератури

1. Спосіб сушіння високовологих матеріалів: пат. на корисну модель 101353 України: МПК А 23 В 7/02 (2006.01). / Бурлака Т.В., Дубковецький І.В., Малежик І.Ф., Стрельченко Л.В.; власник Національний університет харчових технологій. № U 2015 01910, заявл. 04.03.15; опубл. 10.09.15, Бюл. №17.

2. Радіаційно-конвективна сушильна установка: пат. на корисну модель 97903 України: МПК А 23 В 7/02 (2006.01). / Дубковецький І.В., Малежик І.Ф., Бурлака Т.В., Стрельченко Л.В.; власник Національний університет харчових технологій. № U 2014 11436, заявл. 20.10.14; опубл. 10.04.15, Бюл. №7

3. Снежкин Ю. Ф. Научные основы разработки ресурсосберегающих технологий производства фруктово-ягодных порошков: дисс. ... доктора техн. наук: 05.14.04 и 05.18.12 / Снежкин Юрий Федорович. – К., 1993. – 631 с.

4. Gatenby S. J., Hunt P., Rayner V. The National Food Guide: development of the dietetic criteria and nutritional characteristics //J. Hum. Nutr. Dietet. –1995. – V. 8. –P. 323-334.



Abstract. *The production of new functional food powders is prohibited, as a result of which the products retain most of the nutrients, such as large amounts of fiber, which is essential for our body, amino acids, special enzymes that break down fats, essential oils, carbohydrates and protein. Food powders can be used as raw materials for confectionery, bakery, dairy products, instant products, production of tablets and granules, herbal teas.*

Key words: *drying, powder, production, storage, biologically active substances.*

Статья отправлена: 15.06.2021 г.

© Бурлака Т.В.



УДК 658: 512.011: 681.326: 519.713

MODELS AND METHODS FOR SEARCH MALWARE ON THE FEDERATED MACHINE LEARNING ARCHITECTURE МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПОШУКУ ШКІДЛИВИХ КОДІВ НА АРХІТЕКТУРІ ФЕДЕРАТИВНОГО МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Наханов В.І. / Хаханов В.І.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-5312-5841

Saprykin A.S. / Саприкін А.С.

PhD student / аспірант

ORCID: 0000-0001-5399-5054

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Nauky Ave, 14, 61166

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, пр. Науки, 14, 61166

Анотація. Показуються сучасні технології пошуку вірусів, *cloud-edge computing*, а також федеративні алгоритми і архітектури машинного навчання. Пропонуються архітектури пошуку *malware* на основі хог-метрики, використовуваної в проектуванні і тестуванні комп'ютерних систем. Пропонується *Federated ML*-метод для пошуку шкідливих програм, що істотно прискорює навчання без приватних великих даних користувачів. Подається федеративна інфраструктура *cloud-edge computing* на основі пісочниці. Показується використання сигнатурного аналізу і механізму асерції для пошуку *malware*. Пропонується парадигма *LTF*-комп'ютингу пошуку деструктивних компонентів в програмних додатках. Розробляється матрично-логічний метод діагностування шкідливих компонентів, що має високу швидкість за рахунок паралельних операцій. Подається векторно-матричний метод пошуку *malware* в *CPS*, який використовує реакції функціональності і *malware* на тестові набори даних. Всі моделі і алгоритми верифіковані в програмному коді і готові до імплементації в систему хмарного федеративного машинного навчання для пошуку *malware*. Алгоритми, запропоновані в дослідженні, мають лінійну або квадратичну обчислювальну складність. За рахунок паралельного виконання регістрових логічних операцій процедури аналізу матриць або таблиць перевершують аналоги від двох до 10 разів по продуктивності.

Ключові слова: федеративне машинне навчання, пісочниця для шкідливих програм, хмарна пісочниця, периферійні хмарні обчислення, шкідливе ПЗ, кіберфізична система, сигнатура, логіко-векторний аналіз, *ML*-обчислення, виявлення шкідливих програм.

Вступ

Напрямок розвитку нових ринкових технологій визначається компанією Gartner [1]. Тут мова йде про комбінаторні інновації, які створюють нові властивості кіберфізичних систем. Першим трендом є глибока орієнтованість на потреби людей, який включає розвиток інтернету етичної поведінки, узагальнення досвіду в різних сферах і впровадження в управління людиною, підвищення конфіденційності даних при обробці. Другий тренд представлений розподіленими по планеті хмарними сервісами, операційними діями, інваріантними до геолокації суб'єктів (*location independence*), масштабованими мережами кібербезпеки процесів і явищ. Третій тренд – стійкі поставки в умовах світової нестабільності формується інтелектуальним композитним і гнучким бізнесом, надійними засобами *AI-engineering*, гіперавтоматизацією всього, що можна автоматизувати в організації, має бути зроблено. Управління, операції, моніторинг, і захист від вірусів кіберпростору,



FML визначає структуру машинного навчання [2], яка дозволяє створювати колективну модель з даних, розподілених по репозиторіях, які належать різним організаціям або пристроїв, з дотриманням вимог до конфіденційності та безпеки. Стандарт визначає архітектуру і рекомендації по його застосуванню для федеративного машинного навчання, включаючи опис, навчання, категорії, сценарії, продуктивність, нормативні вимоги. Для роботи з великими даними необхідне об'єднання призначених для користувача даних з різних джерел для побудови моделі машинного навчання, що вважається незаконним відповідно до діючої нормативної бази. Мета федеративного машинного навчання - надати реальне рішення,

Таким чином, актуальність досліджень в даній області підтверджується наявністю в бібліотеці IEEE Xplore 6582 публікацій, присвячених пошуку malware, 158 – на основі sandbox, 1241 – Federated Learning, але тільки 8 – нової області Federated Learning MalWare.

Мета дослідження – захист локального кіберфізичного простору шляхом розробки федеративної архітектури cloud-edge комп'ютингу для ML-пісочниць і векторно-логічних методів пошуку шкідливих кодів, що забезпечить високу продуктивність навчання і тестування кібер-просторової пісочниці, зниження навантаження на канали передачі даних, при збереженні цілісності і конфіденційності даних на терміналах користувачів.

Завдання дослідження:

1) Розробити федеративну ML-архітектуру sandbox комп'ютингу для пошуку шкідливих кодів в об'єктах і додатках кіберпростору.

2) Удосконалити структурну модель ML-комп'ютингу для синтезу та аналізу таблиці істинності з метою паралельного виконання логічних операцій пошуку шкідливих кодів.

3) Удосконалити матрично-логічний метод діагностування malware для паралельного виконання логіки алгоритму над рядками і стовпцями таблиці функцій деструктивних компонентів. 4) Удосконалити векторно-матричний метод діагностування шкідливих кодів для логічного аналізу векторного (сигнатурного) уявлення координат матриці деструктивних компонентів.

Архітектури пошуку malware на основі хог-метрики

«Пісочниця (Sandbox)» – це ізольована модельна архітектура комп'ютингу для моніторингу та управління виконанням підозрілого коду, призначена для аналізу і виявлення шкідливої активності програми з метою подальшого заборони виконання коду в зовнішньому середовищі. На основі даного визначення далі пропонуються пісочниці-структури, орієнтовані на використання кіберпростору в якості входу в комп'ютинг захисту. Наступна архітектура (рисунок 1) комп'ютингу [3] є досить трендовою для її реалізації, виходячи з виконаного огляду сучасних технологій захисту кіберпростору від malware. Суть FL-комп'ютингу, запропонованого Google, – поділитися між численними користувачами масовою моделлю машинного навчання для підвищення точності і продуктивності, але при цьому не ділитися своїми даними.

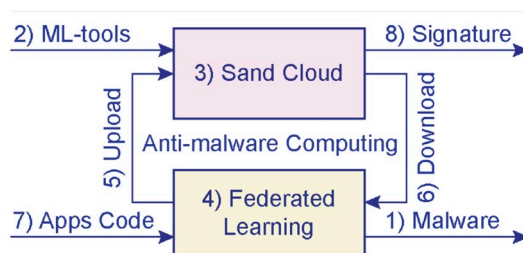


Рисунок 1 – Cloud-edge federated ML-computing for sandbox malware detection

Авторська розробка

Далі пропонується оригінальна архітектура cloud-edge комп'ютингу (рисунок 2) для алгоритму федеративного навчання, який працює ітеративно з чотирма фазами: локальне навчання (Training), завантаження параметрів (Upload) в хмарну пісочницю, агрегування (Aggregating) параметрів на хмарі і повернення параметрів до терміналів (Download).

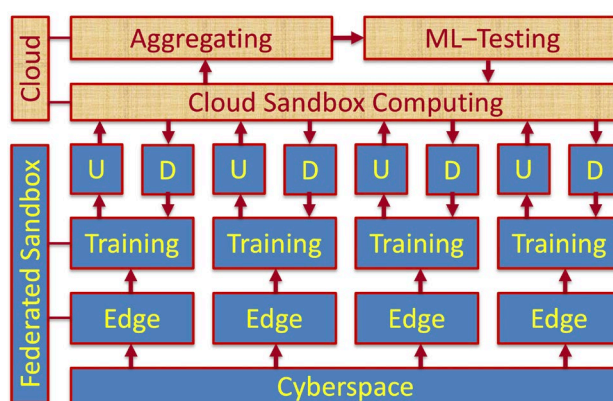


Рисунок 2 – Cloud-sandbox malware detection computing

Авторська розробка

Векторна хог-метрика аналізу кіберфізичних процесів і явищ

У комп'ютингі використовуються три основних форми опису процесів і явищ: таблична, аналітична, графова [3-9]. При цьому матриця (таблиця) і вектор є дві, що переходять одна в одну, форми опису моделей. Вектор є компактним видом таблиці істинності у вигляді впорядкованої послідовності станів виходу, якщо вхідні компоненти-адреси впорядковані за зростанням [3-9]. Матриця, за необхідністю, розпускається в одновимірний вектор для зручності паралельної обробки даних на регістровій пам'яті. Природно, що досить просто відновити таблицю або матрицю з векторної форми опису процесу або явища. Далі фігурує вектор, як компактна і технологічна форма опису об'єктів, функцій і структур для Security computing. Метрика вимірювання процесів і явищ в дискретному (двійковому) просторі оперує трьома аксіомами (рефлексивність, симетричність і транзитивність) циклічної або замкнутої взаємодії між 1,2,3 компонентами. Індукція (inductio) – логічне отримання висновку від часткового до загального, де правильність гарантується достатньою або вичерпною кількістю фактичних даних. Дедукція (deductio) – логічне отримання висновку від загального до конкретного, де правильність



гарантується істинністю посилок-аксіом, що призводять до істинності наслідків-теорем. На дедукцію працює аксіома конволюції (testing) простору процесів і явищ: «Хор-відношення відстаней між кінцевим числом замкнутих в циклі компонентів завжди дорівнює нулю» [3]: $\bigoplus_{i=1}^n d_i = 0$. Природно, що хор-

сума відстаней між замкнутими функціональними об'єктами, представленими у векторному вигляді, також дорівнює нулю. Але істиною є і той факт, що хор-сума кубітних [3] векторів функцій, як об'єктів (and = 0001 or = 0111, xor = 0110), що подана на рисунку 3, дорівнює нулю.

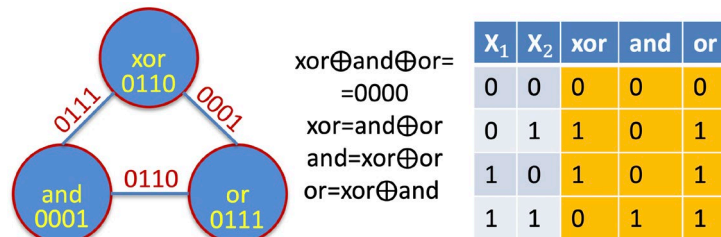


Рисунок 3 – Конволюція логічних функцій

Авторська розробка

Таким чином виходить, що хор-відносини двох згаданих функцій між собою рівні третьої. У сукупності три функції (Xor, And, Or) за допомогою хор-відносини згортаються в нуль: $X \oplus A \oplus O = 0$. Лема конволюції трьох функцій від двох змінних: існує тільки 4 пари логічних функцій, пов'язаних хор-ставленням, які в результаті дають хор-функцію:

1	2	3	4
$\oplus=0110$	$\oplus=0110$	$\oplus=0110$	$\oplus=0110$
$\wedge=0001$	$\bar{\vee}=1000$	$X_1=0011$	$\bar{X}_1=1100$
$\vee=0111$	$\bar{\wedge}=1110$	$X_2=0101$	$\bar{X}_2=1010$

Тут перші два варіанти дійсно можна вважати парами логічних функцій, взаємодія яких дає хор-функцію. Решта дві є виродженими функціями від однієї змінної, які створюють хор-операцію. Якщо врахувати, що другий варіант є інверсія першого, то можна зробити висновок про те, що тільки дві логічних функції (and, or) здатні створювати хор-вектор при хор-взаємодії. Практична значимість леми про конволюцію функцій полягає у наступному: 1) Оператор хор є унікальним і універсальним вимірником подібності-відмінності будь-яких кіберфізичних процесів і явищ. 2) Тільки дві логічних функції (and, or) своїм розходженням створюють хор-операцію. Ще більш цікавим є те, що відмінність двох логічних функцій (and, or) дорівнює їх відмінності. Виконання хор-операції над логічними функціями (and, or) одно хор-операції. 3) Дві функції від однієї змінної (інверсія і повторення) також створюють хор-взаємодію. 4) Тріада логічних функцій (and, or, xor) формує векторну метрику для обчислення структурних $S(a, b) = a_i \wedge b_i$, $D(a, b) = a_i \oplus b_i$, і нормованих оцінок

подібності-відмінності між процесами і явищами: $S_n(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \wedge b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \vee b_i)}$,



$$D_n(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \oplus b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \vee b_i)}.$$

5) Операція диз'юнкції (or) створює загальну метрику

одиничних значень координат для виміру норми подібності-відмінності двох процесів або явищ. 6) Векторна двоичная модель у формі сигнатури використовується для опису шкідливих кодів і коректних функціональностей по асерційному механізму, який дає можливість здійснювати моніторинг стану програмного продукту в просторі і в часі. Сигнатура є двійковий ідентифікатор процесу або явища, який отримується шляхом згортки скіль завгодно довгої двійкової послідовності у 16-розрядний код за допомогою LFSR регістра зсуву із зворотніми зв'язками від розрядів 7,9,12,16, які сумуються на xor-елементі, а потім подається на вход регістру [7-11].

На рисунку 4 представлений інтерфейс програмного додатку, який обчислює схожість-відмінність між двома об'єктами, які представлені текстами, цифрами, символами, літерами, числами і сигнатурами.

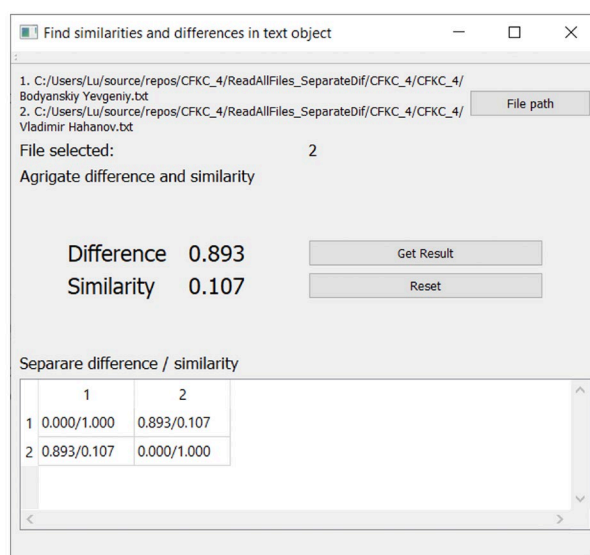


Рисунок 4 – Інтерфейс програми для визначення Similarity-Difference

Авторська розробка

Додаток виконує роль функціонального модуля для ідентифікації деструктивних компонентів в об'єктах кіберпростору. Крім того, модуль може бути використаний для визначення подібності-відмінності між вихідними кодами, текстами, графами структурами і великими даними. Таким чином, поєднання сигнатурного аналізу з ML-таблицями істинності створює ефективні структури даних для пошуку і класифікації шкідливих кодів.

Таким чином, запропонована федеративна ML-архітектура sandbox комп'ютингу, яка характеризується федеративним розподілом в просторі терміналів машинного навчання на основі пісочниць, що дає можливість істотно знизити навантаження на канали передачі даних за рахунок локальної обробки підозрюваних кодів, підвищити продуктивність сукупного cloud-edge computing, зменшити час навчання і тестування глобальної хмарної пісочниці, підвищити якість розпізнавання шкідливих кодів, зберегти цілісність і конфіденційність даних на терміналах користувачів.



Federated ML-метод для пошуку шкідливих програм

Пропонуються структури даних – таблиці істинності на термінальній стороні FML (Federated Machine Learning), як технологічна форма опису коректних програм (КП), деструктивних процесів і явищ для алгоритмів і архітектур машинного навчання (рисунок 5).

Federated Machine Learning Data Structures

Splitting	All Data Set = {code – malware}					
	Training Data 80%					Test Data 20%
	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5	Learning: Finding Parameters
Split 1	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5	
Split 2	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5	
Split 3	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5	
Split 4	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5	
Split 5	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5	
Final evaluation:						Testing Data

Рисунок 5 – ML-System for sandbox-processing

Авторська розробка

Слід зазначити, що часовитратну процедуру split-fold можна виключити з розгляду, якщо взяти до уваги існування відкритих бібліотек і семантичних стандартів для точної ідентифікації ВП. Таким чином, раціональне поєднання існуючих технологічних рішень разом з оригінальними алгоритмами дає можливість визначити як робочу архітектуру cloud-sandbox malware ML-detection computing.

Комп'ютинг для пошуку та усунення деструктивних кодів використовує базове характеристичне рівняння тестування $F \oplus T \oplus L = 0$, яке дає можливість визначати будь-який з компонентів за двома іншими відомим. Тут F – функціональний код, T – код з можливими порушеннями, L – шкідлива програма, що підлягає усуненню. Архітектура комп'ютингу для online моніторингу та усунення ВП подана на рисунку 6.

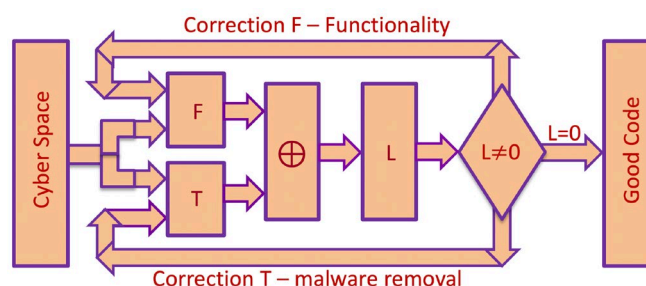


Рисунок 6 – Комп'ютинг пошуку та усунення malware

Авторська розробка

Автомат пошуку malware

ML-навчання (індуктивне і / або дедуктивне) – напіваавтоматичне складання таблиці (прецедентів) істинності для розпізнавання, в даному



випадку, malware, які не мають підказок (hints). Тут найскладнішим завданням є формування механізму асерцій в просторово-часовому континуумі функціональної програми для зняття двійкової послідовності і перетворення її в сигнатуру при подачі тестових або робочих вхідних наборів. Далі необхідно сформулювати відносини між сигнатурою, двійковим кодом і назвою деструктивності $M = \langle 1) ID, 2) Sequence, 3) Signature, 4) Specific syntax and 5) semantic parameters \rangle$ для занесення даної метрики в двійкову або багатозначну таблицю істинності. При великій кількості malware сигнатура не може служити ідентифікатором деструктивного коду. Таблиця істинності розглядається як найефективніша структура для реалізації алгоритмів її аналізу. Вона призначена для пошуку деструктива за відомими значеннями метрики. Якщо поточна послідовність malware атрибутів збігається з однією з раніше введених рядків таблиці істинності, то перша виключається з розгляду. Тут є дві особливості обробки, пов'язані з типами відповідностей і неповнотою рядків, які слід зазначити. Процедура обробки таблиці істинності: пошук всіх рядків, що мають непорожній перетин з вхідним вектором, що в загальному випадку формує підмножину координат для розміщення malware атрибута. Отриману підмножину слід мінімізувати шляхом вирахування неможливих координат. Після цього визначається координата з максимальною частотністю, а також ймовірність її призначення атрибутом malware – процес навчання. В іншому випадку рядок додається в таблицю істинності malware топологій. Тестування ML-додатку: в результаті попередньої обробки вибірки з 500 malware вийде таблиця істинності оригінальних семантичних malware топологічних структур, які далі будуть перевірятися на їх валідність при розпізнаванні інших 500 malware. При цьому слід мати на увазі, що для 500 інших malware також слід побудувати власну таблицю істинності, яка необхідна для автоматичної верифікації перших п'ятисот malware структур, а також підтвердження спроможності алгоритмів і даних при пошуку malware в кіберпросторі. В результаті попередньої обробки вибірки з 500 malware вийде таблиця істинності оригінальних семантичних malware топологічних структур, які далі будуть перевірятися на їх валідність при розпізнаванні інших 500 malware.

Інтегрально, система розпізнавання malware має вигляд, який подано на рисунку 7.

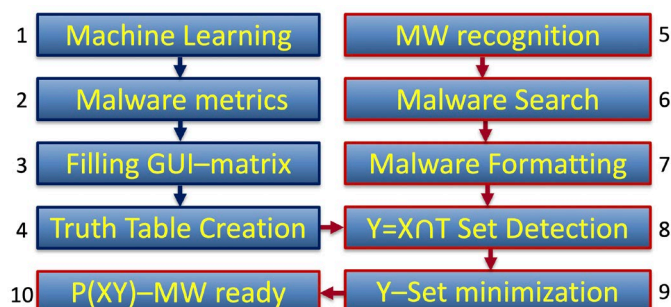


Рисунок 7 – Алгоритм навчання і пошуку malware компонентів

Авторська розробка

Тут помітні дві підмножини блоків: 1) Модуль машинного навчання, компоненти 1-4. 2) Модуль пошуку і розпізнавання malware, елементи 5-10.



Кінцевим результатом роботи алгоритму є формування всіх malware компонентів з виставленням ймовірнісної оцінки P , що характеризує точність розпізнавання malware, яка залежить від числа несуперечливих координат, в яких може існувати шуканий компонент.

Ін'єкційних відповідності не гарантує 100-відсоткову ймовірність попадання атрибута в задану клітинку таблиці істинності. Тому при синтезі останньої необхідно вести підрахунок частотних (рисунок 8) для кожної реалізації рядки, що заносити в новий стовпець, праворуч від таблиці істинності.

1	2	3	4	5	f
15	55	45	35	52	3
...	...	...	...	...	
13	23	33	43	53	6
14	23	33	43	53	8
17	33	27	34	35	9
17	33	27	34	44	2
26	33	27	34	35	1
37	33	27	34	0	3

Рисунок 8 – Таблиця істинності з частотним народження malware

Авторська розробка

Процесинг навчання і тестування таблиці істинності malware має дві фази комп'ютингу (рисунок 9): 1) Синтез ML-таблиці істинності на 500 malware. 2) Тестування таблиці істинності на представницької вибірці векторів, які зведені до тестової таблиці, що має аналогічний формат даних з відомими malware атрибутами.

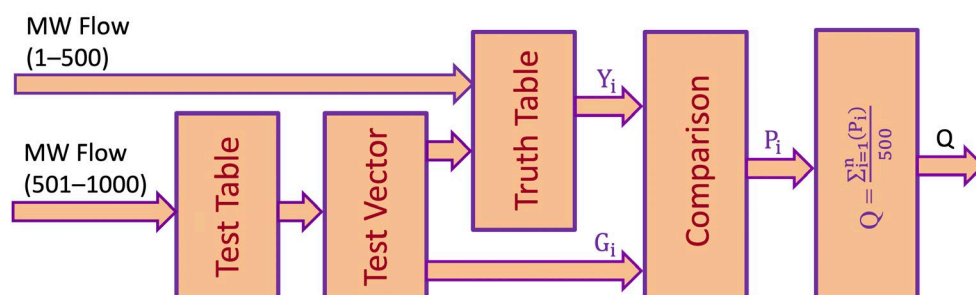


Рисунок 9 – Навчання і тестування ML-таблиці істинності malware

Авторська розробка

Кінцевим результатом тестування є формування нормованої оцінки якості ML-таблиці істинності, яка повинна бути не менше 0,85. Далі, для імплементації програми в виробничий процес обидві таблиці необхідно об'єднати в одну, що може підвищити якість розпізнавання, за рахунок розширення потужності топологічних шаблонів розміщення malware. Слід зауважити, що рядок таблиці істинності інтегрує своєї частотністю (типом) кілька однакових адрес. Але тестова таблиця має потужність векторів, що



дорівнює числу malware. Структура ML-процесингу відповідає конволюційному рівнянню тестування на потоці векторів $T: T \oplus F \oplus L = 0$. Тут L – сукупність malware при розпізнаванні деструктивних компонентів за допомогою таблиці істинності F .

Наукова новизна. Удосконалено структурну модель ML-комп'ютингу, яка відрізняється від відомих детермінізмом синтезу та аналізу ML-таблиці істинності на основі характеристичного рівняння тестування $T \oplus F \oplus L = 0$, що дає можливість паралельно виконувати логічні операції пошуку шкідливих кодів в локальному кіберпросторі.

Матрично-логічний метод діагностування шкідливих компонентів

У фрагменті кіберпростору, комп'ютерної мережі або додатку може одночасно бути присутнім кінцеве безліч M шкідливих кодів. Для такого випадку використовуються матричні структури даних, які визначаються декартових твором тестів T і деструктивних компонентів M . При цьому можна використовувати технологію ML-аналізу матричних даних, яка зводиться до паралельного виконання трьох процедур, пов'язаних з ідентифікацією можливих і неможливих варіантів malware, при пошуку яких використовується стратегія диференціювання рядків таблиці, що відзначаються $(0,1)$ -значення. Далі пропонується метод пошуку шкідливих кодів шляхом паралельного виконання трьох логічних операцій, на матричних структурах даних. Але перед тим слід розглянути декілька корисних фрагментів теорії.

Для аналізу таблиць ВК існують: алгоритм аналізу стовпців (метод наближення), а також алгоритм аналізу рядків (метод виключення). Останній зводиться до виконання одного рядка коду, яка визначає деструктивний стан шляхом виконання двох паралельних логічних операцій and-or над одиничними і нульовими рядками таблиці (рисунок 10).

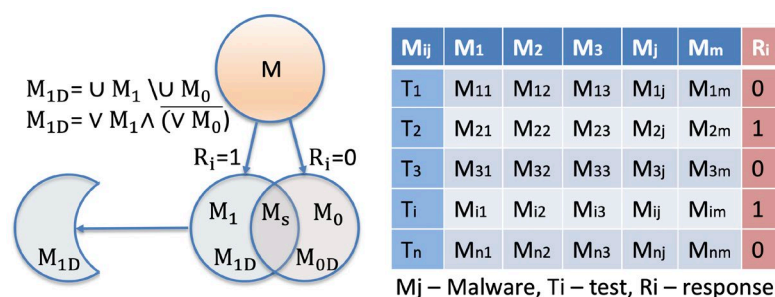


Рисунок 10 – Матрично-тестовий метод пошуку malware

Авторська розробка

Формули для визначення деструктивних станів по таблиці (матриці) мають такий вигляд:

$$L_s = \bigwedge_{R_i=1} M_{i1} \wedge \overline{\bigvee_{R_i=0} M_{i1}}; L_m = \bigvee_{R_i=1} M_{i1} \wedge \overline{\bigvee_{R_i=0} M_{i1}}.$$

Далі представлена таблиця, по якій знайдені кратні malware, зазначені в останньому рядку, на основі наведених вище формул:



T\F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	R
1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
3	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
4	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
6	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
7	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1
8	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
R=1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
R=0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	
L_m	0	0	0	0	0	0	1	1	0	

Процедура паралельного пошуку безлічі кратних ВК дає результат $L = \{7,8\}$, ідентифікований двома одиницями в останньому рядку.

Слід зазначити, що від таблиці ВК можна легко перейти до ML-таблиці істинності, а далі вирішувати питання ідентифікації ВК-станів методами машинного навчання, що дуже ефективно, особливо для складних CPS. Крім того, таблиця ВК, як матрична форма, є технологічно зручними структурами даних для еквівалентування деструктивний з метою синтезу дерева пошуку ВК. З огляду на те, що класи еквівалентності, як правило, будуть неоднакової потужності, то розумне додавання додаткових тестів або асерційних точок до вузьких місць кіберструктури може привести дерево до зваженого вигляду.

Практичний висновок: вектор, таблиця і матриця є найбільш технологічними структурами даних, до яких слід приводити великі дані для їх подальшої тривіальної обробки. Тому ML-Computing, який оперує таблицями, є більш перспективним, ніж структурно складні нейромережі.

Наукова новизна. Удосконалено матрично-логічний метод діагностування шкідливих кодів, який відрізняється від відомих технологій паралельним виконанням логіки алгоритму над рядками і стовпцями попередньо синтезованої таблиці функцій деструктивних компонентів, що дає можливість підвищити продуктивність edge-комп'ютингу користувача.

Векторно-матричний метод пошуку malware в CPS

Вектор тут визначається як двійкова послідовність [12] розмірності k , що одночасно ідентифікує кінцеве число станів, як суперпозицію їх унітарних кодів. Вектор логічної функції є послідовність, що формує $k=2^n$ станів виходу, де n – число змінних. Вектор деструктивності є послідовність, що формує k шкідливих кодів станів додатки або системи, що володіють здатністю суперпозиції, завдяки властивості унітарності їх кодів. Параметр-вектор результатів тестування $R=(R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_p)$, заданий в алфавіті $\{0,1\}$, що дорівнює довжині тесту (де $T=(T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_p)$), являє собою послідовність



значень функції деструктивів, яка формується в процесі виконання тестового експерименту. Тому будь-який рядок матриці ВК $M=(M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_p)$, функціонально залежна від вектора R : $M_i = f(R = \{0,1\})$ в процесі аналізу матриці. Слід зауважити, що рядок матриці M_i і рядок тесту T_i тут і далі є еквівалентними поняттями. Пропонується векторний метод пошуку кратних деструктивностей D_m на основі обчислення теоретико-множинної різниці двох векторів-рядків матриці, відповідних об'єднанню одиничних і нульових реакцій спостерігаються виходів на вхідний тест перевірки ВП:

$$D_m = \bigcup_{\forall R_i=1} M_i \setminus \bigcup_{\forall R_i=0} M_i = \bigvee_{\forall R_i=1} M_i \wedge \overline{\bigvee_{\forall R_i=0} M_i}.$$

Алфавіт опису деструктивних станів CPS має вигляд: $A = \{0,1, X = \{0,1\}, \emptyset\}$, де коди символів складають множину: $K(A) = \{10,01,11,00\}$. Структури даних подані матрицею ВП на декартовому добутку множини тестових наборів і множини деструктивів в об'єкті діагностування, де кожна клітинка є двухбітовий (многобітовий – сигнатура) код: перший з них ідентифікує деструктивність A , що перевіряється, а другий – B . Суперпозиція ВП (дві одиниці на одній лінії-осередку) дає можливість істотно мінімізувати структури даних для зберігання інформації з метою подальшого пошуку ВП при виконанні діагностичного експерименту в режимі online. Для перевірки векторного методу пошуку ВП далі пропонується таблиця, яка формує технологічні матричні структури даних, а також виконання діагностичного експерименту на основі об'єднання сукупності ВП-рядків з векторами в осередках, які формують некоректні стани виходів CPS на тестових наборах $\{T1-R10; T5-R11; T6- (R10, R11); T8-R11\}$:

$M=<T_i, F>$	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	R10	R11
T1	01	10	01	00	10	00	10	00	10	10	01	1	0
T2	10	00	10	00	01	10	00	00	10	01	10	0	0
T3	00	01	01	00	00	01	10	01	01	10	10	0	0
T4	10	00	01	00	10	00	01	00	10	01	01	0	0
T5	00	10	00	01	00	01	00	10	00	10	01	0	1
T6	01	10	00	00	10	00	00	01	10	01	10	1	1
T7	01	00	00	10	00	00	01	00	10	01	01	0	0
T8	00	10	10	01	01	10	00	00	00	01	10	0	1
$F_m^1 = \bigvee_{\forall R_i=1} T_i$	01	10	11	01	11	11	10	11	10	11	11	1	1
$F^0 = \bigvee_{\forall R_i=0} T_i$	11	01	11	10	11	11	11	01	11	11	11	0	0
$D_m = F^1 \wedge \overline{F^0}$	00	10	00	01	10	00	00	10	00	00	00		
$D_m =$	.	0	.	1	.	.	.	0	.	.	.		

Тут паралельне виконання операції диз'юнкції для рядків T1, T5, T6, T8 формує вектор F_m^1 , який збирає всі можливі malware, що перевіряються на тестових наборах. Вектор F^0 , отриманий за допомогою паралельної операції



диз'юнкція над рядками T2, T3, T4, T7, об'єднує всі неможливі, неперевіряні на тестових наборах malware. Віднімання всіх неможливих з усіх можливих malware дає шуканий результат у вигляді трьох ВП, закодованих в таблиці як $F2 = 10$; $F4 = 01$; $F8 = 10$. Таким чином, паралельне виконання двох реєстрових or -операцій на основі результатів проведеного діагностичного експерименту дозволив визначити три можливих деструктивних компонента, кожен з яких має місце бути в CPS: $D_m = \{F10, F41, F80\}$.

Наукова новизна. Удосконалено векторно-матричний метод діагностування шкідливих кодів, який відрізняється від відомих технологій векторних поданням координат матриці деструктивних компонентів, що дає можливість підвищити продуктивність алгоритму аналізу багатозначних або сигнатурних даних шляхом паралельного виконання трьох логічних операцій.

Висновки

Запропоновано федеративна ML-архітектура sandbox комп'ютингу, яка характеризується федеративним розподілом в просторі терміналів машинного навчання на основі «пісочниць», що дає можливість істотно знизити навантаження на канали передачі даних за рахунок локальної обробки підозрюваних кодів, підвищити продуктивність сукупного cloud-edge computing, зменшити час навчання і тестування глобальної хмарної пісочниці, підвищити якість розпізнавання шкідливих кодів, зберегти цілісність і конфіденційність даних на терміналах користувачів.

Удосконалено структурну модель ML-комп'ютингу, яка відрізняється від відомих детермінізмом синтезу та аналізу ML-таблиці істинності на основі характеристичного рівняння тестування $T \oplus F \oplus L = 0$, що дає можливість паралельно виконувати логічні операції пошуку шкідливих кодів в локальному кіберпросторі.

Удосконалено матрично-логічний метод діагностування шкідливих кодів, який відрізняється від відомих технологій паралельним виконанням логіки алгоритму над рядками і стовпцями попередньо синтезованої таблиці функцій деструктивних компонентів, що дає можливість підвищити продуктивність edge-комп'ютингу користувача.

Удосконалено векторно-матричний метод діагностування шкідливих кодів, який відрізняється від відомих технологій векторним поданням координат матриці деструктивних компонентів, що дає можливість підвищити продуктивність алгоритму аналізу багатозначних або сигнатурних даних шляхом паралельного виконання трьох логічних операцій.

Література:

1. Gartner Top Strategic Technology Trends for 2021.
<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-strategic-technology-trends-for-2021/>
2. "IEEE Guide for Architectural Framework and Application of Federated Machine Learning," in IEEE Std 3652.1-2020, Pp.1-69, 19 March 2021, doi: 10.1109 / IEEESTD.2021.9382202.



3. Vladimir Hahanov. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. New York: Springer, 2018. 279 p.

4. M. Karavay, V. Hahanov, E. Litvinova, H. Khakhanova and I. Hahanova, "Qubit Fault Detection in SoC Logic," 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Batumi, Georgia, 2019, pp. 1-7.

5. Hahanov VI, Tamer Bani Amer, Chumachenko SV, Litvinova EI Qubit technology analysis and diagnosis of digital devices // Electronic modeling. 2015. Vol. 37, no 3. P. 17-40.

6. Hahanov V., Litvinova E., Gharibi W., Chumachenko S. Big Data Driven Cyber Analytic System // IEEE International Congress on Big Data, New York City. 2015. P. 615-622.

7. Гордон Д., Надиг Х. Локализация неисправностей в микропроцессорных системах при помощи шестнадцатеричных ключевых кодов // Электроника. – 1977. – №5. – С.23-33.

8. A. Ajane, PM Furth, EE Johnson and RL Subramanyam, "Comparison of binary and LFSR counters and efficient LFSR decoding algorithm," 2011 IEEE 54th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109 / MWSCAS.2011.6026392.

9. R. Oommen, M. K. George and S. Joseph, "Study and Analysis of Various LFSR Architectures," 2018 International Conference on Circuits and Systems in Digital Enterprise Technology (ICCSDET), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCSDET.2018.8821227.

10. S. S. Tirumala, M. R. Valluri and D. Nanadigam, "Evaluation of Feature and Signature based Training Approaches for Malware Classification using Autoencoders," 2020 International Conference on COMMunication Systems & NETworkS (COMSNETS), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/COMSNETS48256.2020.9027373.

11. J. Ferdaos, C. Vaya, A. Bhalla, A. Tharayil and M. El Barachi, "Smart Malware Detection: From Signatures to Artificial Intelligence," 2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), 2020, pp. 1-6, doi: 10.23919/SpliTech49282.2020.9243841.

12. V. Hahanov et al., "Vector-Qubit models for SoC Logic-Structure Testing and Fault Simulation," 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), 2021, Pp. 24-28, doi: 10.1109/CADSM52681.2021.9385266.

Abstract. It shows modern technologies for searching for viruses, cloud-edge computing, as well as federated algorithms and machine learning architectures. The architecture of malware search based on the xor metric used in the design and testing of computing systems is proposed. A Federated ML method is proposed for searching for malware, which significantly speeds up learning without private big data of users. Introduces a sandboxed, cloud-edge computing federated infrastructure. The use of signature analysis and the assertion mechanism for searching for malware is shown. The paradigm of LTF-computing of searching for destructive components in software applications is proposed. A matrix-logical method for diagnosing malicious components is being developed, which has high performance due to parallel operations. A vector-matrix method of searching for malware in CPS is presented, which uses functionality and malware responses to test datasets. All models and algorithms have been verified in the program code and are ready for



implementation in the cloud federated machine learning system for malware search. The algorithms proposed in the study have linear or quadratic computational complexity. Due to the parallel execution of register logical operations, procedures for analyzing matrices or tables outperform their analogs by two to 10 times in performance. A federated ML-architecture of sandbox computing is proposed, which is characterized by federated distribution in the space of machine learning terminals based on sandboxes, which makes it possible to significantly reduce the load on data transmission channels due to local processing of suspected codes, increase the performance of aggregate cloud-edge computing, reduce training time and testing the global cloud sandbox, improve the quality of detection of malicious codes, preserve the integrity and confidentiality of data on user terminals. The structural model of ML-computing has been improved, which differs from the well-known determinism of synthesis and analysis of the ML-truth table based on the characteristic testing equation $T \oplus F \oplus L = 0$, which makes it possible to simultaneously perform logical operations of searching for malicious codes in local cyberspace. The matrix-logical method for diagnosing malicious codes has been improved, which differs from known technologies by the parallel execution of the algorithm logic over the rows and columns of a pre-synthesized table of functions of destructive components, which makes it possible to increase the productivity of edge computing of the user. The vector-matrix method for diagnosing malicious codes has been improved, which differs from known technologies in the vector representation of the coordinates of the matrix of destructive components, which makes it possible to increase the performance of the algorithm for analyzing multivalued or signature data by parallel execution of three logical operations.

Key words: federated machine learning, malware sandbox, cloud sandbox, cloud-edge computing, malware, cyber physical system, signature, logic-vector analysis, ML-computing, malware detection.

Статья отправлена: 10.01.2021 г.
© Хаханов В.И., Сапрыкин А.С.



УДК 004.942:62-83

SIMULATION OF FREQUENCY CONTROLLED ELECTRIC DRIVE OF TURBOMACHINE**МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТУРБОМАШИНИ****Kurliak P. O. / Курляк П.О.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8113-5211

*Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019*

Анотація. В статті проведено моделювання режимів роботи частотно-керованого електроприводу турбомашин сучасним методом математичного та комп'ютерно-орієнтованого моделювання Bond Graph. Результати моделювання дають змогу проводити аналіз динамічних властивостей турбомашин з метою перевірки відповідності технологічним вимогам, уточнення структури системи автоматичного керування, типів і параметрів регуляторів, що використовуються в реальному об'єкті.

Ключові слова: моделювання, частотно-керований електропривід, турбомашини, Bond Graph.

Вступ

Переважає більшість виробничих механізмів у даний час оснащена нерегульованими електроприводами (ЕП) з асинхронними і синхронними електродвигунами. Велику частку – більше 70% від загального об'єму ЕП, що використовуються в нафтогазовій промисловості займають ЕП змінного струму на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Особливо слід відмітити ЕП турбомашин, а саме: насосів, вентиляторів, компресорів, які є найбільш масовими виробничими механізмами. Регулювання продуктивності перекачувальних агрегатів зазвичай здійснюється дискретно зміною їх числа і плавно — досить неефективним способом — дроселюванням за допомогою засувки. Останній спосіб пов'язаний з підвищеним енергоспоживанням, невисокою точністю регулювання технологічних параметрів, а також підвищеним зносом електричного, механічного і гідравлічного устаткування.

Одним з найбільш ефективних шляхів реалізації енергоощадних технологічних режимів при експлуатації турбомашин є використання частотно-керованого ЕП, низький рівень використання якого в нафтогазовій промисловості пояснюється відсутністю до останнього часу надійних перетворювачів частоти, придатних для важких умов експлуатації. Поява повністю керованих силових напівпровідникових приладів (IGBT, IGCT, GTO, SGCT) привела до радикальних змін в схемотехніці пристроїв силової електроніки, що дозволило створювати частотно-керовані ЕП великої (десятки МВт) потужності.

У зв'язку із цим виникає практична необхідність дослідження режимів роботи частотно-керованого електроприводу турбомашин сучасними методами математичного та комп'ютерно-орієнтованого моделювання. Таке моделювання



є важливим етапом дослідження та проектування систем ЕП. На цьому етапі виконується аналіз динамічних властивостей ЕП з метою перевірки відповідності технологічним вимогам, уточнюються структура системи автоматичного керування, типи і параметри регуляторів, що використовуються.

1. Розроблення моделей частотно-керованого електроприводу турбомашин методом Bond Graph

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором є основним типом електричних машин для турбомеханізмів. Це обумовлено простотою їх конструкції, малою масою та габаритами, високою надійністю в експлуатації, стандартизацією і високим коефіцієнтом корисної дії. Фактично вони мають тільки два недоліки: великий пусковий струм ($5 \div 7 I_{ном.}$) і обмежені можливості регулювання частоти обертання вала.

Конструктивно асинхронний двигун загального призначення виконаний так, що оптимальна густина магнітного потоку виникає при номінальних параметрах мережі живлення: напрузі U_n і частоті f_n . Коли змінюється частота, необхідно одночасно змінювати і напругу живлення двигуна для підтримання постійного значення величини ковзання s . Таке керування асинхронним двигуном є скалярним, і здійснюється з постійним співвідношенням напруги до частоти U/f . Існують два види скалярного керування: із лінійним та квадратичним співвідношенням U/f . При чому лінійне співвідношення використовують в електроприводах з постійним, не залежним від швидкості робочого механізму моментом на валу, а квадратичне – для приводів, в яких момент пропорційний квадрату швидкості обертання вала. Двигун при квадратичному керуванні працює із зменшеним магнітним потоком на частотах нижче номінальних. Він має менший максимальний момент, ніж при лінійному співвідношенні U/f , і створює менше шуму. Для турбомашин застосовують обидва закони керування.

В основу Bond Graph моделей частотно-керованого електроприводу турбомашин закладено моделі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором [1] та відцентрового насоса [2], а також синтезована модель електроприводного відцентрового насосного агрегату [3]. Модель електроприводного відцентрового насосного агрегату вміщує наступні підмоделі: трифазне джерело необмеженої потужності з номінальною напругою, асинхронний двигун (АД) з короткозамкненим (КЗ) ротором [1], відцентровий насос (ВН) [2] з напірною засувкою, зворотним клапаном та трубопровід. У даній моделі процеси перетворення енергії в АД з КЗ ротором описують відповідно системою диференціальних рівнянь рівноваги напруг за другим законом Кірхгофа (1) та рівнянням електромагнітного моменту (2); у ВН системою диференціальних рівнянь стану насоса (3) та рівняннями запірної арматури (4); зв'язок між АД і ВН виражений рівняннями балансу механічної та гідравлічної потужностей (5), рівнянням Ейлера для гідромашин (6) і рівнянням руху насосного агрегату (7) [3]. Для проведення досліджень частотно-керованого електроприводу турбомашин розроблено підмодель перетворювача частоти, за допомогою якої реалізуються скалярний закон керування відповідно до рівнянь (8)



$$\left\{ \begin{array}{l} u_{\alpha}^s = R_{\alpha}^s i_{\alpha}^s + L_{\alpha}^s \frac{di_{\alpha}^s}{dt} + M \frac{di_{\alpha}^r}{dt}, \\ u_{\beta}^s = R_{\beta}^s i_{\beta}^s + L_{\beta}^s \frac{di_{\beta}^s}{dt} + M \frac{di_{\beta}^r}{dt}, \\ 0 = R_{\alpha}^r i_{\alpha}^r + L_{\alpha}^r \frac{di_{\alpha}^r}{dt} + M \frac{di_{\alpha}^s}{dt} + \omega^r (L_{\beta}^r i_{\beta}^r + M i_{\beta}^s), \\ 0 = R_{\beta}^r i_{\beta}^r + L_{\beta}^r \frac{di_{\beta}^r}{dt} + M \frac{di_{\beta}^s}{dt} - \omega^r (L_{\alpha}^r i_{\alpha}^r + M i_{\alpha}^s); \end{array} \right. \quad (1)$$

$$T_e = p \left[i_{\alpha}^r (M i_{\beta}^s + L^r i_{\beta}^r) - i_{\beta}^r (M i_{\alpha}^s + L^r i_{\alpha}^r) \right]; \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho g H_{ekv} = L_{mHQ} \frac{dQ_T}{dt} + L_{dQ} \frac{dQ_{\Delta}}{dt} + Q_{\Delta} R_{dQ}, \\ \rho g H_{ekv} = L_{mHQ} \frac{dQ_T}{dt} + L_{dH} \frac{dQ_d}{dt} + Q_d R_{dH} + \\ + Q_d (R_Z + R_{KL} + R_{TR}), \\ Q_T - Q_{\Delta} - Q_d = 0; \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_Z = 0, \quad R_{TR} = 1, \\ R_{KL} = R_0 e^{-\left(\frac{t-t_1}{Ta}\right)}. \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\rho g H_{\infty} Q_{\infty} = T_L \omega_m; \quad (5)$$

$$\rho g H_{\infty} = \rho \omega_m \left(\omega_m (R_2^2 - R_1^2) - \frac{Q_{\infty}}{2\pi} \left(\frac{ctg \beta_2}{b_2} - \frac{ctg \beta_1}{b_1} \right) \right) \quad (6)$$

$$T_e = J \frac{d\omega^r}{dt} + c\omega^r + T_L; \quad (7)$$

$$\frac{U_1}{f_1} = const; \quad \frac{U_1}{f_1^2} = const; \quad (8)$$

де $u_{\alpha}^s, u_{\beta}^s$ - α, β складові напруг обмоток статора; $i_{\alpha}^s, i_{\beta}^s, i_{\alpha}^r, i_{\beta}^r$ - α, β складові струму відповідно в обмотках статора і ротора; $R_{\alpha}^s, R_{\beta}^s, R_{\alpha}^r, R_{\beta}^r$ - активні опори обмоток статора і ротора; $L_{\alpha}^s, L_{\beta}^s, L_{\alpha}^r, L_{\beta}^r$ - повні індуктивності обмоток статора і ротора; M - взаємна індуктивність; ω^r, ω_m - відповідно кутова швидкість обертання ротора АД і робочого колеса ВН (при жорсткому з'єднанні валів $\omega_m = \omega^r$); T_e - електромагнітний момент двигуна; p - кількість пар полюсів; J - сумарний обертовий момент інерції ротора ЕВНА; c - коефіцієнт тертя валу в підшипниках; T_L - момент навантаження на валу; H_{∞}, H_{ekv} - відповідно значення напору ідеального ВН та на виході робочого колеса ВН; $Q_{\infty}, Q_T, Q_d, Q_{\Delta}$ - відповідно значення витрати ідеального ВН, на виході колеса, дифузору та у



вітці об'ємних втрат рідини; L_{mHQ} - інерційність, яка відображає вплив скінченної кількості лопатей ВН; $R_{dH}, L_{dH}; R_{dQ}, L_{dQ}$ - активний опір та інерційність відповідно віток гідравлічних та об'ємних втрат; R_Z - опір напірної засувки; R_{TR} - зовнішній гідравлічний опір трубопроводу; R_{KL} - опір зворотного клапану на виході станції; R_0 - опір зворотного клапану в закритому стані; t_1 - момент часу відкриття зворотного клапану; T_a - стала часу; U_1, f_1 - величина напруги та частоти мережі живлення.

2. Результати моделювання режимів роботи частотно-керованого асинхронного електроприводу відцентрового насосного агрегату.

За допомогою розробленої Bond Graph моделі частотно-керованого електроприводу турбомашини та програми 20-sim 4.0 Professional проведені дослідження перехідних і усталених режимів роботи насосного агрегату із АД типу ВАО2-315М-2У2 і ВН типу НК-200х370-Г1-М060, що використовується в УБСН групового збору №5 на НГВУ "Долиналифтогаз". Числові значення основних елементів Bond Graph моделі турбомашини розраховані за методикою [5] на основі каталогових даних ЕП.

На рисунках 1-2 зображено результати моделювання частотно-керованого електроприводу турбомашини. Зокрема на рисунку 1 - залежності часової зміни струмів обмоток статора, а на рисунку 2 залежності зміни електродинамічного моменту відповідно при прямому (а) та регульованому (б) пуску турбомашини.

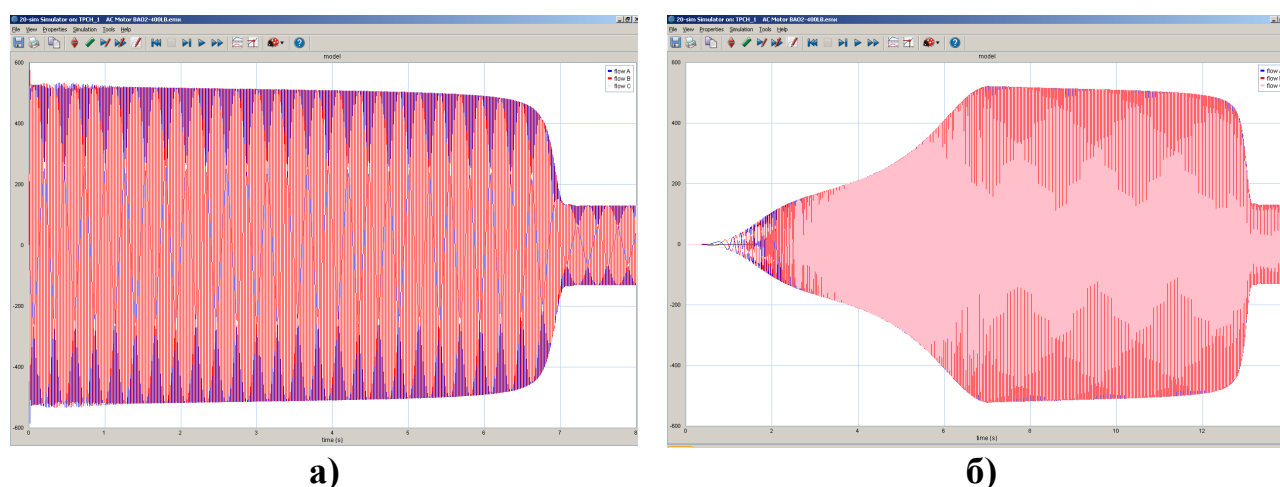


Рисунок 1 – Осцилограми струмів в обмотках статора двигуна при прямому (а) та регульованому (б) пуску турбомашини

Під час прямого пуску АД від мережі виникає кидок струму, величина якого досягає значення 577 А, що в 5 разів перевищує номінальне значення струму електродвигуна. Дія такого ударного навантаження на провідники лобових частин обмотки електродвигуна приводить до механічного руйнування ізоляції, міжвиткових коротких замикань.

Тривалість такої дії при пуску електродвигуна залежить від моменту опору на його валу і при частих і важких пусках приводить до перевищення допустимого рівня температури обмоток, зниженню електричної міцності ізоляції і, відповідно, до міжвиткових коротких замикань. Великі пускові



струми приводять до посадки напруги, що веде до нестабільної роботі всього підключеного до неї устаткування.

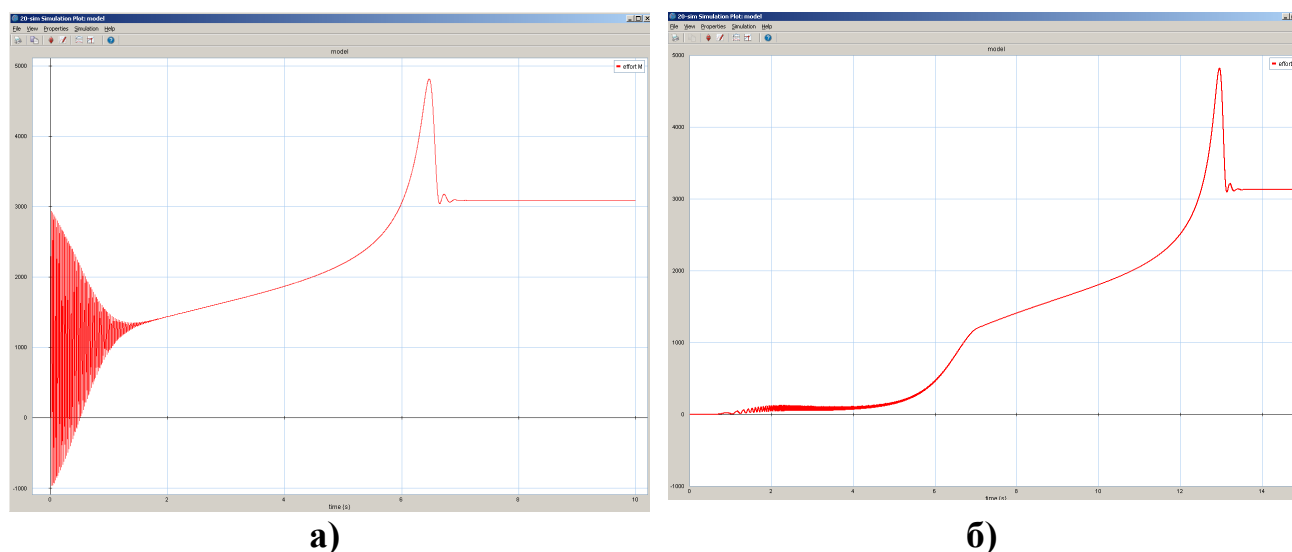


Рисунок 2 – Осцилограми електродинамічних моментів двигуна при прямому (а) та регульованому (б) пуску турбомашини

Висновки.

З одержаних результатів моделювання частотно-керованого електроприводу турбомашини, видно, що застосування перетворювача частоти забезпечує плавний пуск двигуна та усунення коливання електродинамічного моменту на його валу. Це в свою чергу призводить до зменшення гідравлічних ударів в перекачувальних агрегатах, механічних навантажень на підшипники, сполучні муфти, вали, вузли кріплення приводів та кількості аварій на трубопроводі, в наслідок чого термін служби устаткування збільшується в 1,5-2 рази. Крім того досягається значна економія електроенергії до 30 – 60 % за рахунок плавного регулювання швидкості обертання валу двигуна, що призводить до підвищення ККД турбомашини.

Література:

Костишин В.С., Курляк П.О. Bond Graph модель асинхронного двигуна з врахуванням насичення магнітопроводу та ефекту витіснення струму в роторі // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2011. – №4 (30). – с.32-37. – ISSN 1993–9965.

Костишин В.С., Курляк П.О. Bond Graph модель магістральних відцентрових насосів нафтоперекачувальних станцій // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ.-2007.- №1 (22) с.56-63. – ISSN 1993–9965.

Костишин В.С. Дослідження динамічних режимів роботи електроприводних відцентрових насосних агрегатів за допомогою їх комп'ютерно-орієнтованих BondGraph // Вісник Вінницького політехнічного інституту.-2012.- №2.-с.148–153. – ISSN 1997–9274.



Abstract. *The article simulates the modes of operation of the frequency-controlled electric drive of turbomachines by the modern method of mathematical and computer-oriented modeling of Bond Graph. The simulation results allow analyze the dynamic properties of turbomachines in order to verify compliance with technological requirements, clarify the structure of the automatic control system, types and parameters of regulators used in the real object*

Key words: *simulation, frequency-controlled electric drive, turbomachine, Bond Graph.*

Стаття відправлена: 29.06.2021р.

© Курляк П.О.



УДК 658: 512.011: 681.326: 519.713

**CYBER SOCIAL FEDERATED COMPUTING
КІБЕРСОЦІАЛЬНИЙ ФЕДЕРАТИВНИЙ КОМП'ЮТИНГ****Khakhanova H.V / Хаханова А.В.***k.t.s, docent / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-1318-7973

*Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Nauky Ave, 14, 61166**Харківський національний університет радіоелектроніки,**Харків, пр. Науки, 14, 61166*

Анотація. Пропонується новий кіберсоціальний комп'ютинг моральних відносин між державою і громадянами, які виконують ролі толерантних механізмів управління і виконання для створення матеріальних цінностей, підвищення якості життя і збереження екології. Формуються *computer engineering technologies*, цілеспрямовані на гармонійний сталий розвиток суспільства, що виключає соціальні колізії, революції і війни, на основі метричного вичерпного моніторингу і морального цифрового управління. Визначаються основні процеси і явища кіберфізичного простору з метою їх використання для формування стійкого кіберсоціального світу. Пропонуються інноваційні моделі, методи і алгоритми для формування масштабованого кіберсоціального *human-free online* комп'ютингу, що має на меті підвищення якості життя громадян і збереження екології регіонів і планети. Розглядається ML-модель у формі таблиці істинності для опису процесу, явища, людини, соціальної групи, суб'єкта, де метричними параметрами виступають морально і соціально значущі показники. Формується універсальна хор-метрика конволюції цифрового кіберпростору, яка дає можливість вимірювати будь-які кіберсоціальні процеси і явища, а також визначати ступінь їх відмінності для розпізнавання і усунення соціальних колізій L на основі рівняння $F \oplus T \oplus L = 0$. Пропонується структура хмарно-мобільного додатка *Cyber*

Social Computing, яка характеризується наявністю штучного інтелекту у вигляді двох ML-таблиць істинності і кубітних структур даних для паралельного моделювання соціальних процесів з метою передбачення соціальних наслідків. Розглядається модель *Digital Twin Computing*, яка характеризується порівнянням двох ML-таблиць істинності, що моделюють ідеальну і реальну поведінку людини з виставленням їй метричних оцінок за соціальну активність і значимість, прийнятих в співтоваристві. Пропонується удосконалена модель-архітектура кіберсоціального FML-комп'ютингу, яка відрізняється від стандартної суміщенням процесу навчання, тестування, функціонування та розподілом ML-терміналів в просторі, що дає можливість на порядок зменшити час навчання і підвищити якість сервісів по розпізнаванню-прийняттю рішень. Пропонується вдосконалена архітектура *cloud-edge* кіберсоціального комп'ютингу для алгоритмів федеративного навчання, яка включає чотири фази: локальне навчання (*Training*), завантаження параметрів (*Upload*) в хмарну модель, агрегування (*Aggregating*) параметрів на хмарі і повернення параметрів моделі до терміналів (*Download*). Вводиться логічна метрика якості розпізнавання патернів, дефектів і колізій, яка в сукупності з рівнянням комп'ютингу дає можливість формувати всі структурні та нормовані оцінки в процесі навчання.

Ключові слова: кіберсоціальний комп'ютинг, метричні моральні відносини, кіберпростір, моніторинг соціальних метрик, цифрове управління, розумне суспільство, соціальна інженерія, соціальна аналітика великих даних, машинне навчання, Інтернет-хмарні послуги, кіберфізичний комп'ютинг, ML-управління, квантові структури даних, загальне рівняння ML, кіберсоціальні ML-обчислення, *Digital Twin of Cyber Social Computing*, федеративне машинне навчання.



Вступ. Стан проблеми

Ключ до справедливого управління людством криється в цифровому полі глобального комп'ютингу (рисунок 1). Тут стан глобального інтелекту L вдосконалюється у бік зменшення відмінностей між законотворчістю F і традиціями T , що забезпечує якість життя кожної людини. Важливе значення для функціонування глобального комп'ютингу мають канали зв'язку в частині їх продуктивності, яка може бути збільшена за рахунок впровадження технологій кодування і стиснення даних.

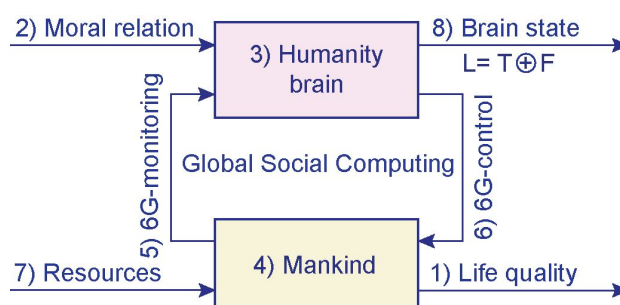


Рисунок 1 – Глобальний соціальний комп'ютинг

Авторська розробка

Метрика комп'ютингу представлена вісьмома компонентами, які формують довільну систему: 1) Мета, ідея або ініціація створення проекту. 2) Відносини, що формуються статутом, традиціями і законодавством, – найголовніший у всіх системах атрибут, який визначає якість, надійність, відмовостійкість і працездатність всієї інфраструктури для досягнення мети. 3) Управління, яке формує ефективність створення і функціонування проекту. 4) Виконання, що подане кадрами і допоміжними механізмами. 5) Вичерпний метричний моніторинг механізму виконання. 6) Цифрові сигнали точної актуації компонентів виконання. 7) Ресурси (фінансові та матеріальні) для забезпечення роботи механізму виконання. 8) Стан системи в процесі виконання проекту або завдання.

На сьогоднішній день бібліографія Cyber Social Computing представлена 3386 джерелами в бібліотеці IEEE Xplore, а також сотнями книг, опублікованих Springer. Найцікавіші монографії [1-6]. Проте, дослідження, які стосуються цифрового управління соціальними процесами і явищами в онлайн-режимі на основі метричного моніторингу, представлені досить слабо. До найбільш значних публікацій відносяться [7-35]. Комплексне дослідження присвячене наступним технологіям і напрямкам: 1) Відображення фізичних і соціальних процесів в кіберпросторі. 2) Аналітика великих даних для прийняття рішень людьми. 3) Застосування моделей і методів штучного інтелекту для прийняття рішень експертами. 4) Надання найпростіших хмарних сервісів громадянам від держави і компаній. 5) Розпізнавання деструктивного контенту для подальшого блокування сайтів і медіаканалів. 6) Системи прийняття експертних рішень в кіберпросторі на основі аналізу великих даних. 7) Зелені технології соціальних обчислень для морального управління поведінкою громадян. 8) Застосування Cloud-Fog-Edge-Peer2Peer Computing для всебічного моніторингу соціальних



процесів. 9) Створення соціальних роботів для онлайн-сервісу громадянина в медицині, повсякденному житті, подорожах. 10) Квантові структури і алгоритми для ефективного вирішення завдань аналізу великих даних, комплексного моніторингу та цифрового управління соціальними групами і громадянами.

Слід зазначити, що практично всі напрями відзначені дослідженнями комп'ютерної школи ХНУРЕ, які представлені 39 публікаціями серед них [1,7,13,19,20, 26, 32, 35].

Сьогодні найбільш затребуваними темами на ринку технологій для практики, науки і освіти є: 1) Quantum Computing. 2) Cyber Social Computing. 3) Artificial Intelligence Computing. Перший повинен вирішити всі найскладніші комбінаторні проблеми людства, але в комбінації з класичним комп'ютигом. Професор Soon-Xin Ng робить цікаві висновки щодо Cooperative Classical and Quantum Communications, QCIT Workshop, 6th of July 2021. Відповідно до закону Мура, кількість транзисторів на кристалі подвоюється кожні два роки. Розмір транзистора наблизиться до атомного масштабу, завдяки прагненню до мініатюризації і більшої обчислювальної потужності. Поведінка на атомному рівні регулюється законами квантової фізики, відмінними від законів класичної фізики. Квантовий паралелізм дозволяє Q-комп'ютеру паралельно виконувати операції і швидко вирішувати комбінаторні задачі оптимізації. Перешкодою на шляху практичного використання Q-комп'ютерів є чутливість квантових станів, які руйнуються при взаємодії з навколишнім середовищем. Необхідні потужні коди квантової корекції помилок (QEC) для захисту Q-станів від руйнування в структурах квантових комунікацій. Professor Marco Chiani пропонує тему Quantum «Piggyback» Procedure. У класичних мережах телекомунікацій операції пошуку символічних патернів в потоці для синхронізації, вставка даних або контрольних символів (IP) в пакети є звичайною практикою. У квантових мережах ці операції неможливі, оскільки будь-яке вимірювання руйнує квантову суперпозицію. Актуальним завданням є поєднання класичної інформації з кубітним потоком, який захищений кодом квантової корекції помилок. Поєднання квантових потоків може полегшити синхронізацію, управління і використання квантових систем і мереж. Другий (Cyber Social Computing) – покликаний усунути небезпеку ліквідації народів і катастрофічного забруднення планети. Третій (Artificial Intelligence Computing) – має на меті створити human-free підходи сталого саморозвитку кіберфізичних механізмів і інфраструктур. При цьому комп'ютинг означає online прийняття цифрових рішень у відповідь на точний вичерпний метричний моніторинг процесу або явища. Згадані тренди корелюються з напрямками розвитку технологій 2021 Gartner's Priorities [36]. Тут мова йде про комбінаторики інновацій, які створюють нові властивості кіберфізичних систем, спрямовані на якість життя громадян і збереження екології планети. Першим трендом є глибока орієнтованість на потреби людей, який включає розвиток інтернету етичної поведінки, узагальнення досвіду в різних сферах і впровадження в управління людиною, підвищення конфіденційності даних при обробці. Другий тренд представлений розподіленими хмарними сервісами, операційними діями,



інваріантними до геолокації суб'єктів, масштабованими мережами кібербезпеки процесів і явищ. Третій тренд – стійкі поставки в умовах світової нестабільності – формується інтелектуальним композитним і гнучким бізнесом, надійними засобами AI-engineering, гіперавтоматизацією всього, що можна автоматизувати вдома, в компанії, державі. Остання публікація від Gartner показує явно позначене технологічне зрушення в бік алокальних операцій на кіберфізичній інфраструктурі з безперервним операційним часом виконання. Робиться акцент на перевагу критичних умінь, але не ролей, на розподілені обчислення і істотну модернізацію основних бізнес-понять (рисунок 2).

Top Trends Impacting I&O 2021



Рисунок 2 – Напрями впливу моделей інфраструктури та операцій на бізнес

Джерело [36]

Інтерес представляє співвідношення між AI- і класичним комп'ютингу в метриці точності (якості) рішення задачі і часу для досягнення Yield – Time-to-Market Створення придатного для використання на практиці обчислювача (рисунок 3).

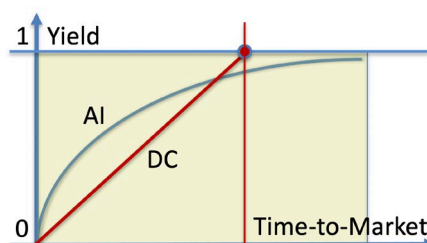


Рисунок 3 – Метричне відношення між AI- і детермінованим комп'ютингом

Авторська розробка

Кожна людина також передбачає в своєму розвитку Time-to-Market, який визначається періодом, необхідним для отримання компетентності, достатній для виконання функціональних соціальних обов'язків, оцінюваних грошовим еквівалентом. У цей період включаються виховання і освіта в школі та університеті. Мета такої освіти – досягнення стандартів по знанням, умінням і навичкам, які можуть бути затребувані на ринку праці державою, компаніями та університетами. Як правило, є два типи індивідуумів, які характеризуються різними кривими розвитку (рисунок 4): 1) Спринтер, який все робить швидко, але і втомлюється від діяльності теж швидко. Як правило, спринтери швидко сходять з дистанції і в майбутньому стають повторителями і хорошими виконавцями чужих ідей. 2) Стаєр – повільно запрягає, але швидко їде, ґрунтовно і системно займається своєю освітою, піднімаючись від традиційного



трієчника до рівня, що перевершує існуючі стандарти освіти на величину переваги $L = T \oplus F$, де T – рівень знань студента, F – стандарт освіти.

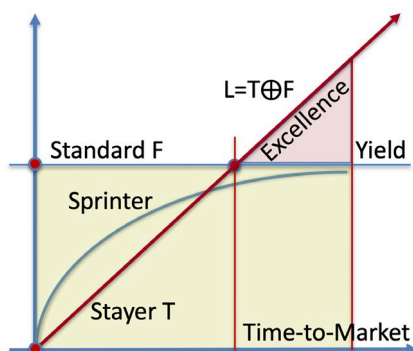


Рисунок 4 – Excellence, як розвиток особистості, процесу або явища

Авторська розробка

Структури даних і алгоритми, простір і час

Таблиця істинності – ідеальна форма структур даних для організації спеціалізованих обчислювачів, до яких відноситься і ML-computing. Таблиця істинності є цифровий автомат (умовно) з одним станом. Таблиця переходів алгоритму – за формою не відрізняється від таблиці істинності. Обидві реалізують сукупність умов (if – then) для розпізнавання патернів і прийняття рішення. По суті, таблиця переходів є скорочена або неповністю визначена таблиця істинності. Об'єднання умов if – then створює метрику істотних параметрів для форматування всіх рядків-умов в рамках таблиці істинності. Можна автоматизувати процес синтезу таблиці істинності: якщо параметр вхідної умови відсутній в метриці, то він додається до вектору змінних. При цьому всі інші рядки таблиці істинності, де даного параметра не було, міститимуть на його координаті символ невизначеності або інваріантності. Така процедура ефективно буде працювати при створенні ML-структур даних на основі єдиної таблиці істинності. Умова для перевірки коректності таблиці – перетин всіх пар рядків між собою дорівнює порожній множині. Приклад синтезу умов: if a, then 1; if b then 0; if ab then 2; if c then 3; if bcd then 4; if ae then 1. Таблиця істинності для згаданих умов має вигляд:

1	2	3	4	5	y
a					1
	b				0
a	b				2
		c			3
	b	c	d		4
a				e	1

Рішення по таблиці істинності визначається як об'єднання станів виходів Y_i для тих рядків таблиці (T_i, Y_i) , які мають непорожній результат перетину з вхідною умовою $Y = \bigcup Y_i \leftarrow T_i \cap X \neq \emptyset$, заданих в форматі метрики параметрів.

Будь-який, як завгодно складний комп'ютинг можна уявити таблицею істинності з примітивним автоматом управління, в один стан, що реалізує



синхронізацію. З'являється метрика комп'ютингу, що задається твором простір-час $n = S \times T$, що має взаємно однозначна відповідність з імплементацією даних параметрів в аналогічну пару логіка-пам'ять $n = L \times M$. Відхід від паралелізму квантового аналогового комп'ютингу комбінаційної схеми породжує часовитратний механізм отримання результату за рахунок перетворення фрагментів простору в послідовні часові фрейми елементарних обчислень. Замість однієї великої таблиці істинності створюється кінцеве число маленьких таблиць, обробка яких синхронізується в часі. Це стає можливим за рахунок введення вже нетривіального автомата управління (алгоритму), що координує роботу невеликих таблиць істинності або мікрооперацій. Алгоритм працює як перетворювач-трансформатор простору таблиці істинності в часовий інтервал обчислення, необхідний для отримання результату: $S \rightarrow A \rightarrow T$. Чим складніше алгоритм, тим більше час його обробки. Простір і час створюють методологічний добуток $n = S \times T$, які мають враховуватися експертами при розробці спеціалізованих обчислювачів. Зменшення простору спричиняє зниження швидкодії і навпаки. Наприклад, три точки на кривій (рисунок 5) формують однаковий добуток, що дорівнює $n = S \times T = 8 \times 2 = 4 \times 4 = 2 \times 8 = 16$.

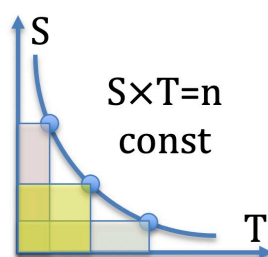


Рисунок 5 – Просторово-часова залежність комп'ютингу

Авторська розробка

Таким чином, ускладнення структур даних від таблиці істинності у бік її розбиття парадоксально призводить до появи складних алгоритмів, що використовують пам'ять, і тягне за собою істотне збільшення часу обчислювального процесу для отримання результату. Маючи на увазі, що пам'яті на сьогодні досить для зберігання таблиць істинності великої розмірності, необхідне повернення архітектури обчислювача до найпростіших структур даних – таблиць і примітивним алгоритмам управління на основі логіки. До того ж слід мати на увазі, що досить зберігати не всю таблицю, а тільки (кубітний) вектор її вихідних станів, що ще більш спонукає спеціалізований комп'ютинг у бік векторних структур даних і примітивної логіки алгоритмів для їх обробки. Практичний висновок: вектор, таблиця і матриця є найбільш технологічними структурами даних, до яких слід приводити великі дані для їх подальшої тривіальної обробки. Тому ML-Computing, який оперує таблицями, є актуальним ринково-орієнтованим апаратом для розпізнавання і прийняття рішень.



Мета, завдання і обґрунтування напрямку дослідження

Мета дослідження – розробка моделей, методів, архітектур і алгоритмів кіберфізичного федеративного комп'ютингу для вичерпного моніторингу і цифрового управління соціальними процесами і явищами, орієнтованих на підвищення якості життя, усунення колізій і збереження екології.

Transactions on Computers включає теорію розрахунків і обчислювальних процесів, проектування і тестування апаратури, системну архітектуру, програмне забезпечення, штучний інтелект і комп'ютерні науки. Дослідження являє собою агрегування галузей знань: глобальна мережа, 5G-канали зв'язку, комп'ютинг, machine learning. ML включають математику, комп'ютерну інженерію, статистику, цифрову обробку сигналів, а також теорію інформації і кодування. ML-модель використовує: (1) вхідні дані, (2) метрику кількісного визначення помилки або відстані між поточною та ідеальною поведінкою, (3) механізм зворотного зв'язку, що використовує отриману відстань для вибору кращої стратегії поведінки в подальших подіях. Сказане укладається в конволюціоне рівняння комп'ютингу $T \oplus F \oplus L = 0$, яке одним зі своїх трьох варіантів створює формулу машинного навчання: $L = T \oplus F$, де T – вхідні дані, F – ідеальна модель (таблиця істинності), L – відстань (нормована і / або структурна) між ними (рисунок 6).

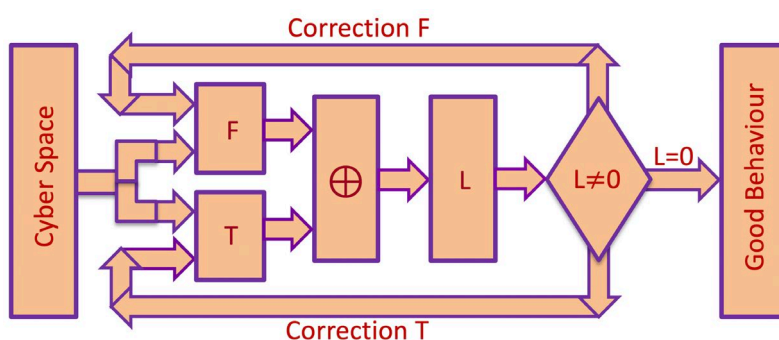


Рисунок 6 – ML-комп'ютинг навчання правильній поведінці

Авторська розробка

1) Створення колективного кібер-розуму проходить через FML-технології ненав'язливого і розумного використання громадян і термінальних пристроїв. Все це стало можливим, завдяки появі 5G-каналів зв'язку, хмарних структур, соціальних мереж, мобільних пристроїв і експертів, що ініціюють створення цифрового світу і інтелекту планети.

2) Федеративний комп'ютинг, як обмін ML-моделями, але не даними, вже сьогодні вирішує проблеми машинного навчання і паралельних обчислень для створення високопродуктивного мозку людства під управлінням компанії Google без порушення закону про захист персональних даних користувачів.

3) ML-комп'ютинг (рисунок 7) є цілеспрямоване і візуалізоване агрегування двох процесів розпізнавання і прийняття рішень в інфраструктурі механізмів управління і виконання при наявності ресурсів (data) і відносин (code) [37, 38]. Відмінність від класичного ML полягає в циклічності, автономності, замкнутості, безперервності навчання, тестування і



функціонування. Кіберсоціальний ML-комп'ютинг відрізняється пунктом 2, де він оперує відносинами у вигляді законів і традицій.

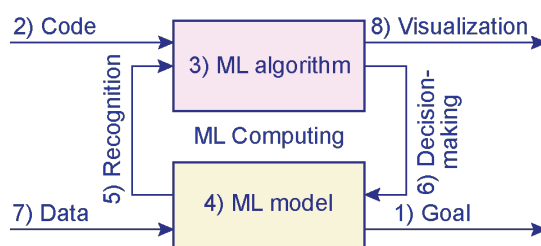


Рисунок 7 – ML-комп'ютинг функціонування

Авторська розробка

Машинне навчання – це синтез комп'ютерних алгоритмів, які автоматично поліпшуються в міру накопичення досвіду для інтелектуального аналізу даних, виведення загальних правил, з метою автоматичного вивчення і задоволення інтересів користувачів [2, 36, 37, 38]. Алгоритми повинні бути примітивними і швидкодіючими, які обробляють стійкі до часу структури даних – інтерпретативні таблиці істинності. Виходячи з цього, далі йде визначення, дещо відмінне від традиційного.

Машинне навчання – виконання алгоритму просторово-часового синтезу логічної моделі T (таблиці істинності) шляхом її наближення до специфікації F (реального процесу або явища) в метриці послідовного рутинного усунення колізій $L = T \oplus F$ для розпізнавання і прийняття рішень.

1) Векторно-матричні форми є найтехнологічнішими структурами даних, орієнтованими на паралельні і квантові швидкодіючі транзакції в кіберфізичному і кіберсоціальному просторі, але які сьогодні складають всього 4 відсотки від уже сотень зеттабайт, що створюють інформаційне наповнення інтернету. Тут пропонується унітарне кодування універсуму примітивів при аналізі процесів або явищ, яке створює кубітний формат даних (set-vector), який орієнтований на паралельне (квантове) виконання логіки і алгоритмів за рахунок надмірності пам'яті.

2) Телекомунікаційні канали зв'язку завжди були, є і будуть вузькими місцями в розподіленому cloud-fog-edge-peer2peer комп'ютингу, що змушує вчених не тільки створювати 6G інфраструктуру планети, а й шукати нові технології кодування, стиснення і компресії поки тільки 4-х відсотків структурованих під QC & CS даних, для підвищення продуктивності інформаційних транзакцій між обчислювальними алокальними терміналами.

3) Пропонуються моделі і методи метричного синтезу, аналізу і кодування векторно-матричних структур даних в розподіленому комп'ютингу кіберсоціальних систем.

4) Розробляються матричні моделі і паралельні методи детермінованого кіберфізичного комп'ютингу, орієнтовані на моніторинг, управління і моделювання соціальних процесів і явищ.

Предмет дослідження – кіберсоціальний комп'ютинг для метричного моніторингу та цифрового управління суспільними групами з метою



забезпечення якості державних сервісів і збереження екології регіонів.

Об'єкт дослідження – теорія і технології цифрового комп'ютингу для кіберсоціального управління суспільством, забезпечення якості життя і збереження екології.

Проблема дослідження – усунення протиріч між законотворчістю влади і глибинними суспільними відносинами, що історично склалися, включаючи: історію, культуру, релігію, мови, традиції, за рахунок створення кіберсоціального комп'ютингу вичерпного моніторингу і цифрового управління.

Титульна тема дослідження – федеративний (розподілений у просторі масовий процес навчання) комп'ютинг векторно-матричних транзакцій в кіберсоціальних системах (Federated Computing on Vector-Matrix Transactions for Cyber Social Systems).

Стійкість кіберсоціальної системи

Стійкість – здатність кіберсоціальної системи зберігати (працездатний) стан в часі і просторі при наявності зовнішніх впливів, включаючи колізії і навмисні деструктивні дії. Якщо врахувати, що метрика соціальних відносин у двійковому цифровому просторі може бути визначена, як сума хог-відносин (відстаней) між n ($n = 1, 2, 3, \dots$) компонентами, що дорівнює нулю $\bigoplus_{i=1,n} d_i = 0$, то

транзитивне замикання в даній метриці буде мати такий вигляд: $F \bigoplus T \bigoplus L = 0$,

де F – законодавчі державні відносини, T – глибинні народні традиції, L – соціальні колізії між двома першими. З даної метрики слід аксіома-рівняння соціальної стійкості держави (суспільства, компанії, університету, соціальної групи): $F \bigoplus T = L$, де $L = 0$. Істотним видається різноманітність громадян за

метрикою культури, релігії, мов, освіти, традицій. Таким чином, критерій стійкості визначається метрикою: $\bigoplus_{i=1,n} A_i$, де A – атрибути різноманіття по

кожному метричному параметру. Найдивовижніше тут, що тиражування одного атрибута в n суб'єктах створює оцінку на основі перетину, рівну одному атрибуту: $\bigoplus_{i=1,n} A_i = \cap A_i$. Якщо всі атрибути різні, то оцінка формується

об'єднанням атрибутів: $\bigoplus_{i=1,n} A_i = \cup A_i$. Тому різноманіття мов, культур, релігій,

наук, утворень, історій, традицій створює інтелектуальні потужності, економіку і престиж держави для його всебічного розвитку. Тут важливим є саме параметр n , як потужність множини-атрибута. Якщо $n = 1$, то створюється саме нестійке рефлексивне відношення монокультури, нарцисизм. При $n = 2$, є симетричне, також нестійке у кіберсоціальному просторі відношення. Якщо $n = 3$, виходить Транзитивне, трикутне вже стійке ставідношення. Природно, подальше нарощування потужності компонентів підвищує стійкість системи, яка в межі трансформується в коло з нескінченним числом компонентів, що беруть участь у формуванні соціальної системи. Дотримуючись даної тези,



можна побудувати ієрархію стійкості соціальної системи для існуючих утворень: людина, пара, сім'я, група, суспільство, держава, людство. При цьому в кожній структурі важливо мати максимальне різноманіття, яке створює адитивний інтелект або стійкість системи до соціальних колізій. Мінімально стійка структура – трикутник. Найстійкіша з можливих систем, та яка має сукупність унікальних компонентів (громадян) на колі, коли хор-операції між ними створюють їх суму. З комп'ютерної інженерії відомо, що мережева структура «кільце» є набагато надійною, ніж «зірка». Але найнадійніша і стійка обчислювальна структура – сильний граф, де кожен компонент пов'язаний з усіма іншими. За таким сценарієм побудована блокчейн інфраструктура, яка порівнянна з сукупністю рівноправних і унікальних взаємопов'язаних точок-суб'єктів на окружності. Це і є досяжною сьогодні ідеальною моделлю стійкості толерантних і моральних відносин між людьми в кіберсоціальному просторі. Таким чином, максимально стійкою структурою-фігурою в кіберсоціальному просторі є окружність, яка має нескінченне число помітних, безпосередньо взаємодіючих між собою і рівноправних суб'єктів.

Рівняння і архітектури комп'ютингу

Таким чином, кіберсоціальні системи з точки зору управління людьми сьогодні найбільш небезпечні і критичні. Вилучення людини з механізму управління суспільством – головна проблема людства, вирішення якої може врятувати людей і планету.

Комп'ютинг, кібер-фізичний і кібер-соціальний, є ізоморфними поняттями, в основу яких покладено точне управління процесами на основі вичерпного метричного моніторингу об'єктів. З іншого боку, ключовим поняттям будь-якого комп'ютингу є відношення між процесами і / або явищами, яке обчислюється на основі метрики визначення відстані (подібності-відмінності) між ними: $\sum_{i=1}^m d_i = 0$, що показано на рисунку 8.

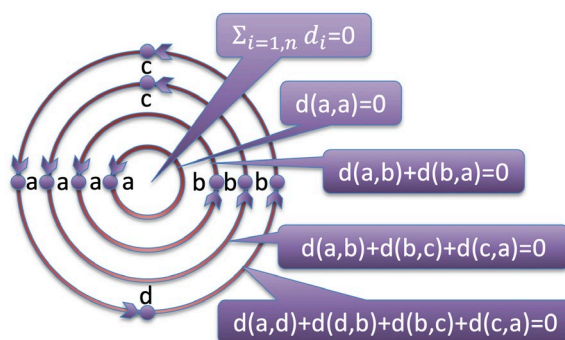


Рисунок 8 – Метрична конволюція простору

Авторська розробка

Природно, щоб забезпечити стійкість суб'єкта міжнародної діяльності, необхідно реалізувати наступну структуру кіберсоціального комп'ютингу, в основу якого покладена технологія машинного навчання (рисунок 9) для фази управління відносинами між законотворчістю і традиціями на основі ефективної схеми контролю. Таблиця істинності і тестування визначаються в однаковому форматі векторів семантичних параметрів, які визначаються



експертами або NLP-процесорами. Останні синтезують параметри таблиць на основі парсеризації контенту законів або опису існуючих в суспільстві традицій.

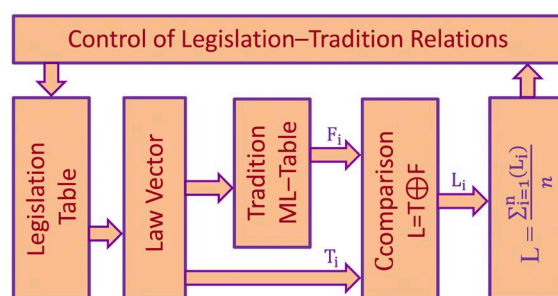


Рисунок 9 – Кіберсоціальний ML-комп'ютинг

Авторська розробка

Комп'ютинг цифрового двійника як процес обміну даними

Практика створення цифрового двійника *igold* для соціального моніторингу та управління *iam* на основі універсальної $F \oplus T \oplus L = 0$ моделі

комп'ютингу (рисунок 10): 1) Метрика для вимірювання активності людини, що включає: переваги, конструктивізм, негативізм, соціальну значимість і соціальну небезпеку. 2) Комплекс *cloud-edge* додатків по кіберсоціальному цифровому управлінню етикою і естетикою поведінки людини на основі вичерпного само-моніторингу. 3) Будь-яка дія, пов'язана з наукою, освітою, роботою, відпочинком, спортом, творчістю, волонтерством, метрично оцінюється системою з виставленням балів, які інтегрально характеризують кожну людину, формуючи його моральний та професійний портрет. 4) Будь-які протиправні або аморальні дії також відслідковуються і метрично оцінюються системою з виставленням мінусових оцінок, які формують негативну сторону діяльності кожної людини. 5) Формування інтегрального критерію з позитивної і негативної діяльності дає підстави для вироблення керуючих впливів щодо кожної людини, які полягають в конструктивних попередження з метою запобігання негативним наслідкам від подальших невірних, аморальних або неправомірних дій. 6) Вироблення керуючих впливів по схваленню конструктивної діяльності та / або позитивних намірів в частині задекларованої самоактивності.

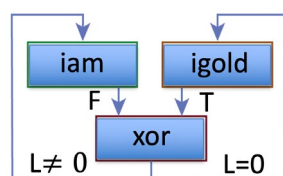


Рисунок 10 – Digital Twin Computing

Авторська розробка

Інновація Digital Twin системи відрізняється від цифрового образу людини активним комп'ютингом, який дозволяє керувати діями індивідуума, виставляючи йому в online режимі нормовані оцінки в метриці соціальної значущості – цифрового профілю, а також збираючи всі відомості в єдину історію соціальних досягнень для отримання моральних і матеріальних бонусів.



Система Digital Twin Computing може бути реалізована, як мобільний додаток для iPhone (smartphone), так і корисна функціональність для соціальних мереж, включаючи Facebook.

Практика FML-driven cloud-edge computing

Імплементація моделей, методу і архітектур реалізована в FML-driven cloud-edge computing, яка має на меті впровадження метрики розпізнавання патернів для прийняття рішення на ринку надання цифрових сервісів. Для прискорення процесів навчання ML-моделі, представленої таблицею істинності, були використані розподілені в просторі комп'ютерні термінали, які локально тренували одні і ті ж структури даних. Структура паттерна була представлена сукупністю синтаксично обумовлених параметрів, а також групою атрибутів (червоні кружечки), які володіють семантико-топологічними властивостями і тому є важко розпізнаваними (рисунок 11).

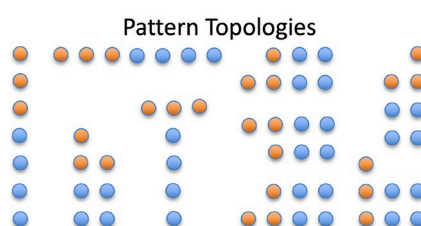


Рисунок 11 – Топологія-семантика патернів для розпізнавання

Авторська розробка

Для ідентифікації останніх була побудована топологічна модель просторово-координатної кореляції детермінованих і імовірнісних параметрів-атрибутів у двовимірній матричній структурі. Далі виконувалося навчання всіма агентами за єдиною метрикою таблиці з залученням представницької вибірки (> 1000) актуальних патернів. Приклад ML-таблиці істинності в форматі $(Y, X_1, X_2, X_3, X_4, f)$ матриці топології подано на рисунку 12. Тут Y – семантичний компонент патерну, що підлягає визначенню, X – синтаксично NLP-визначені атрибути, f (6 колонка в таблиці істинності) – частотність появи патерну в потоці даних. Права частина представляє топологічну структуру для ідентифікації патерну цифровими ідентифікаторами (1–5) відносно центрального осередку.

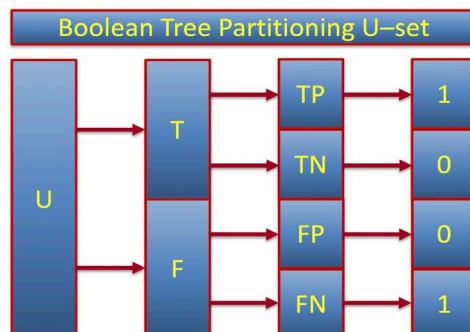
1	0	55	53	54	56	2	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	0	55	35	45	0	2	21	22	23	23	25	26	27	28	29
3	45	55	53	54	0	47	31	32	33	34	35	36	37	38	39
4	52	55	53	54	0	27	41	42	43	44	45	46	47	48	49
5	25	55	35	45	0	12	51	52	53	54	55	56	57	58	59
6	45	55	54	0	65	2	61	62	63	64	65	66	67	68	69
7	52	0	53	54	0	2	71	72	73	74	75	76	77	78	79
8	45	55	35	25	0	1	81	82	83	84	85	86	87	88	89
9	25	55	45	35	0	1	91	92	93	94	95	96	97	98	99
10	54	55	65	0	0	6									
11	45	55	65	75	35	1									
12	85	55	65	75	0	1									
13	44	55	45	54	0	1									
14	45	55	56	65	35	1									
15	45	55	65	75	85	1									

Рисунок 12 – Приклад ML-таблиці істинності в матриці топології

Авторська розробка



З метою прискорення тренінгу були побудовані дві таблиці істинності: для навчання і тестування, що суттєво прискорило на останній стадії процес верифікації ML-таблиці істинності, а також покращило якість результуючої моделі шляхом з'єднання двох згаданих таблиць. Таким чином, час тренінгу моделі зайняло два тижні, а її якість склало 0,98. При цьому два відсотки належать множині TN (True Negative) (рисуюнок 13).



Рисуюнок 13 – Варіанти відповідей при розпізнаванні патернів

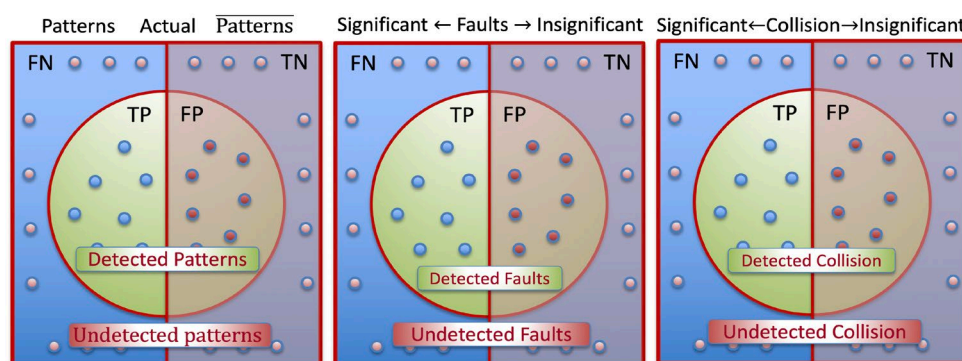
Авторська розробка

Послідовний розподіл універсуму патернів на чотири підмножини є суть алгоритму вимірювання для формування оцінок якості розпізнавання патернів. При цьому розподіл ґрунтується на введенні двох булевих змінних, які дають підстави застосувати апарат двійкових дерев рішень, щоб отримати всі можливі розбиття, що створюють обчислювальні процедури для пошуку патернів. Тут кінцевими вершинами виступають двійкові стани булевої функції від двох змінних, які ідентифікують функцію еквівалентності, як інверсію хог-операції. Для формування оцінок якості використовуються прості процедури:

1) Визначення відповідностей (TP, TN, FP, FN) між паттернами, що входять до множин (Pats, $\overline{\text{Pats}}$): $TP = \text{Pats} \oplus FN$; $TN = \overline{\text{Pats}} \oplus FP$; $FP = \overline{\text{Pats}} \oplus TN$; $FN = \text{Pats} \oplus TP$ для подальшого отримання чотирьох оцінок розпізнавання.

2) Вимірювання параметрів розпізнавання патернів пов'язано з формуванням 4-х оцінок якості розпізнавання (рисуюнок 14):

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN}; \text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP}; \text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN}; \text{F1 Score} = \frac{2 \times (\text{Recall} \times \text{Precision})}{\text{Recall} + \text{Precision}} = \frac{2 \times (TP / (TP+FN) \times TP / (TP+FP))}{TP / (TP+FN) + TP / (TP+FP)}$$



Рисуюнок 14 – Діаграма-метрика якості розпізнавання патернів, дефектів і колізій

Авторська розробка



Тут представлені наступні оцінки. Accuracy – відношення правильно розпізнаних патернів до їх загальної кількості. Precision – відношення позитивно розпізнаних патернів до загальної кількості позитивних спостережень. Recall (Sensitivity – чутливість) – відношення правильно розпізнаних патернів до спостережень в актуальному класі. F1 Score – середньозважене значення точності і відгуку – є функцією від помилкових спрацьовувань і негативних результатів при нерівномірному розподілі класів.

Природно, діаграма формування якості навчання носить універсальний характер, яка може бути застосована в усіх сферах людської діяльності. Для діагностування дефектів в комп'ютерних системах на основі характеристичного рівняння (конволюції, розвитку, тестування, вимірювання, навчання, деградації) $F \oplus T \oplus L = 0$ (L – несправності обчислювача, T – перевіряючий тест, F – функціональність) поля діаграми інтерпретуються як: TP (FP) – суттєві (несуттєві) дефекти, які виявляються тестом, FN (TN) – суттєві (несуттєві) дефекти, які не виявляються тестом. Фактично алгоритми тестування та діагностування спрямовані на процес навчання моделі, яка прагне в своїй досконалості до якості тіста Recall, рівному 1.

Формально тривіальною стає задача тестування відносин в соціумі, якщо взяти до уваги характеристичне рівняння комп'ютингу $F \oplus T \oplus L = 0$, де L – помилки або колізії між традиціями T, які тестують на слабкі місця закони F. Тут поля діаграми інтерпретуються як: TP (FP) – істотні (несуттєві) соціальні колізії, які виявляються тестом, FN (TN) – суттєві (несуттєві) колізії, що не виявляються тестом. Фактично алгоритми тестування та діагностування абсолютно передбачуваних соціальних конфліктів у відносинах спрямовані на процес навчання моделі, яка також прагне в своїй досконалості до якості теста Recall, рівному 1. Карта Карно, як not-хор логіка якості розпізнавання подана на рисунку 15 not-хор операцією, де P – pattern, D – detected. Слід мати на увазі, що корекції підлягають і традиції, які можуть бути скорегованими законами, якщо перші протирічать загальнолюдським цінностям.

	P	N
T	1	0
F	0	1

	D	$\bar{D}$
P	TP	TN
$\bar{P}$	FP	FN

	D	$\bar{D}$
P	11	10
$\bar{P}$	01	00

$$L = TP \cdot FN; = FP \cdot TN. L = TP \cdot FN; = FP \cdot TN. L = TP \cdot FN = 1; = FP \cdot TN = 1.$$

Рисунок 15 – Карта Карно not-хор логіки якості розпізнавання

Авторська розробка

Таким чином, рівняння комп'ютингу $F \oplus T \oplus L = 0$ дає можливість примітивно і технологічно формалізувати транзакцію розпізнавання-прийняття рішення або їх ізоморфних аналогів в метриці процесу або явища, що належить кіберфізичному або кіберсоціальному простору.

Наукова новизна. Запропоновано універсальну модель кіберсоціального комп'ютингу, яка характеризується нульовою відстанню між трьома компонентами $F \oplus T \oplus L = 0$, що дає можливість ефективно визначати колізії



між процесами і явищами для їх подальшого усунення. Введена логічна метрика якості розпізнавання патернів, дефектів і колізій, яка в сукупності з рівнянням комп'ютингу дає можливість формувати всі структурні та нормовані оцінки в процесі навчання.

Результати тестування ML-моделі для вирішення задачі розпізнавання адрес: 1) На 500 фрагментах розпізнано 1071 патерн та не розпізнано 25, число патернів 1096. 2) Виявлено 338 фрагментів без патернів. 3) Кількість фрагментів з одним або декількома паттернами – 162. 4) Кількість нерозпізнаних патернів, що мають OCR-помилки дорівнює 25. 5) Якість розпізнавання тест-таблиці за навчальною вибіркою одно 98 відсоткам. Гістограма розподілу патернів на двовимірній топології зображено на рисунку 16, де зайнятий лівий верхній квадрант матриці.

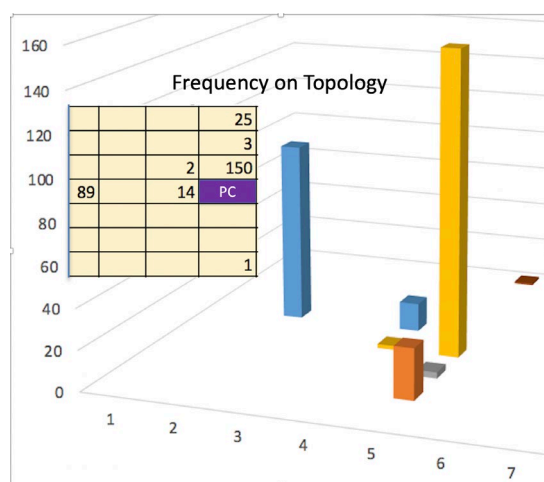


Рисунок 16 – Частотність розподілу патернів на двовимірній топології

Авторська розробка

Таким чином, запропонована система розпізнавання патернів і прийняття рішення верифікована на представницькій вибірці тестових впливів і може бути використана на ринку цифрових технологій.

Висновок

Створення колективного кібер-розуму держави і людства проходить через FML-технології ненав'язливого і розумного використання громадян і термінальних пристроїв. Все це стало можливим, завдяки появі 5G-каналів зв'язку, хмарних структур, соціальних мереж, мобільних пристроїв і геніальних експертів, що ініціюють створення цифрового світу і інтелекту планети. Пропонуються моделі і методи кіберсоціального комп'ютингу, які дають можливість поліпшити якість життя громадян по метриці моралі і достатку, а також усунути соціальні колізії між владою і народом.

1) Запропоновано новий кіберсоціальний комп'ютинг моральних відносин між державою і громадянами, які виконують ролі толерантних механізмів управління і виконання для створення моральних і матеріальних цінностей, підвищення якості життя і збереження екології. Визначено computer engineering technologies, цілеспрямовані на гармонійний сталий розвиток суспільства, що виключає соціальні колізії, революції і війни, на основі метричного вичерпного моніторингу і морального цифрового управління. Інтегровані всі сучасні



технології для online управління оцифрованих людством без участі самої людини.

2) Визначено моделі процесів і явищ кіберфізичного простору з метою їх використання для формування стійкого кіберсоціального світу. Показано відсутність практичних досліджень і розробок, спрямованих на замкнутий цикл вичерпного метричного моніторингу та цифрового управління ресурсами і соціальними процесами без участі людини. Запропоновано інноваційні моделі, методи і алгоритми для формування масштабованого кіберсоціального human-free комп'ютингу, що має на меті підвищення якості життя громадян і збереження екології регіонів і планети. Розглянуто кіберсоціальну модель суспільства, як критичну систему, аморальне управління якою призводить до катастрофічних втрат ресурсів, людських життів, економіки, історії, культури, науки, освіти та державності.

3) Запропоновано авторські або інноваційні комп'ютиінгові рішення для діагностування і online усунення відмінностей між народними традиціями і законодавством, що сьогодні дозволяє ліквідувати соціальні катастрофи в усіх державах світу і зберегти трильйони доларів на розвиток економіки, інфраструктури і соціальних послуг.

4) Розглянуто ML-модель у формі таблиці істинності для опису процесу, явища, людини, соціальної групи, суб'єкта, де метричними параметрами виступають моральні соціально значущі показники. Визначено ідеальна ML-модель співтовариства, відносно якої виконується порівняльний аналіз поведінки громадянина або керівника для передбачення позитивних або негативних наслідків.

5) Представлена універсальна хог-метрика конволюції цифрового кіберпростору, яка дає можливість вимірювати будь-які кіберсоціальні процеси і явища, а також визначати їх ступінь відмінності для розпізнавання і усунення соціальних колізій L на основі рівняння $F \oplus T \oplus L = 0$. Запропоновано універсальну модель кіберсоціального комп'ютингу, яка характеризується нульовим відстанню між трьома компонентами $F \oplus T \oplus L = 0$, що дає можливість ефективно визначати колізії між процесами і явищами для їх подальшого усунення.

6) Запропоновано структуру хмарно-мобільного додатка Cyber Social Computing, яка характеризується наявністю штучного інтелекту у вигляді двох ML-таблиць істинності і кубітних структур даних для паралельного моделювання соціальних процесів з метою передбачення соціальних наслідків від законодавчих актів.

7) Розглянуто модель Digital Twin Computing, яка характеризується порівнянням двох ML-таблиць істинності, що моделюють ідеальну і реальну поведінку людини з виставленням йому метричних оцінок за його соціальну активність і значимість, прийнятих у суспільстві.

8) Запропоновано удосконалену модель-архітектуру кіберсоціального FML-комп'ютингу, яка відрізняється від стандартної суміщенням процесу навчання, тестування, функціонування та розподілом ML-терміналів в просторі,



що дає можливість на порядок зменшити час навчання і підвищити якість сервісів по розпізнаванню-прийняттю рішень при обслуговуванні громадян.

9) Запропоновано удосконалену архітектуру cloud-edge кіберсоціального комп'ютингу для алгоритмів федеративного навчання, яка включає чотири фази: локальне навчання (Training), завантаження параметрів (Upload) в хмарну модель, агрегування (Aggregating) параметрів на хмарі і повернення параметрів моделі до терміналів (Download).

10) Введено логічну метрику якості розпізнавання патернів, дефектів і колізій, яка в сукупності з рівнянням комп'ютингу дає можливість формувати всі структурні та нормовані оцінки в процесі навчання.

Література:

1. Vladimir Hahanov. *Cyber Physical Computing for IoT-driven Services* New York: Springer 2018. 279 p.
2. Hai Zhuge. *Cyber-Physical-Social Intelligence*. Springer edition. Singapore. 2020. 351 p. DOI 10.1007/978-981-13-7311-4
3. Ivor Goodson, Michele Knobel, Colin Lankshear, and J. Marshall Mangan. *Cyber Spaces/Social Spaces. Culture Clash in Computerized Classrooms*. Palgrave Macmillan US. 2002. 172 p. DOI 10.1057/9780230602151
4. Xun Liang. *Social Computing with Artificial Intelligence*. Springer Singapore. 2020. 289 p. DOI 10.1007/978-981-15-7760-4
5. Ant Ozok, Panayiotis Zaphiris. *Online Communities and Social Computing*. 5th International Conference, OCSC 2013, Las Vegas, NV, USA, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 452 p. DOI 10.1007/978-3-642-39371-6
6. Mariarosaria Taddeo, Ludovica Glorioso. *Ethics and Policies for Cyber Operations* NATO Cooperative Cyber Defence Centre of Excellence Initiative. Springer International Publishing. 2017. 252 p. DOI 10.1007/978-3-319-45300-2
7. V. Hahanov, S. Chumachenko, E. Litvinova and A. Hahanova, "Cyber-physical social monitoring and governance for the state structures," 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), 2018, pp. 123-129, doi: 10.1109/DESSERT.2018.8409112.
8. Sheth, P. Anantharam and C. Henson, "Physical-Cyber-Social Computing: An Early 21st Century Approach," in *IEEE Intelligent Systems*, vol. 28, no. 1, pp. 78-82, Jan.-Feb. 2013, doi: 10.1109/MIS.2013.20.
9. N. K. Giang, R. Lea and V. C. M. Leung, "Exogenous Coordination for Building Fog-Based Cyber Physical Social Computing and Networking Systems," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 31740-31749, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2844336.
10. L.-L. Shi et al., "Human-Centric Cyber Social Computing Model for Hot-Event Detection and Propagation," in *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 6, no. 5, pp. 1042-1050, Oct. 2019, doi: 10.1109/TCSS.2019.2913783.
11. W. Zhang, X. Chen, J. Sun and Q. Xi, "A Distributed DBSCAN Algorithm for Massive Data in Cyber Physical and Social Computing," 2020 International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics



(Cybermatics), 2020, pp. 426-433, doi: 10.1109/iThings-GreenCom-CPSCo-SmartData-Cybermatics50389.2020.00081.

12. K. H. Lee, A. Lippman, A. S. Pentland and P. Maes, "Just-in-Time Social Cloud: Computational Social Platform to Guide People's Just-in-Time Decisions," 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, 2013, pp. 1259-1266, doi: 10.1109/GreenCom-iThings-CPSCo.2013.219.

13. V. Hahanov, S. Chumachenko, E. Litvinova, A. V. Hacimahmud, A. Hahanova and T. Soklakova, "Cyber Social Computing," 2018 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2018, pp. 1-8, doi: 10.1109/EWDTS.2018.8524663.

14. Sheth, "Computing for human experience: Semantics-empowered sensors, services, and social computing on the ubiquitous Web," in IEEE Internet Computing, vol. 14, no. 1, pp. 88-91, Jan.-Feb. 2010, doi: 10.1109/MIC.2010.4.

15. S. K. Das, "Cyber-physical-social convergence in smart living: Challenges and opportunities," 2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2016, pp. 1-1, doi: 10.1109/PERCOMW.2016.7457093.

16. X. Zhou, W. Liang, S. Huang and M. Fu, "Social Recommendation With Large-Scale Group Decision-Making for Cyber-Enabled Online Service," in IEEE Transactions on Computational Social Systems, vol. 6, no. 5, pp. 1073-1082, Oct. 2019, doi: 10.1109/TCSS.2019.2932288.

17. J. J. Zhang et al., "Cyber-Physical-Social Systems: The State of the Art and Perspectives," in IEEE Transactions on Computational Social Systems, vol. 5, no. 3, pp. 829-840, Sept. 2018, doi: 10.1109/TCSS.2018.2861224.

18. Z. Su, Q. Qi, Q. Xu, S. Guo and X. Wang, "Incentive Scheme for Cyber Physical Social Systems Based on User Behaviors," in IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, vol. 8, no. 1, pp. 92-103, 1 Jan.-March 2020, doi: 10.1109/TETC.2017.2671843.

19. A. Hahanova, S. Chumachenko, V. Hahanov, A. V. Hacimahmud, K. L. Man and A. Mishchenko, "Emerging Culture of Social Computing," 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884429.

20. V. Hacimahmud, O. Mishchenko, V. H. Kharkov and T. Soklakova, "Moral cyber-social computing for state and university," 2017 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110032.

21. S. Dhelim, H. Ning, F. Farha, L. Chen, L. Atzori and M. Daneshmand, "IoT-Enabled Social Relationships Meet Artificial Social Intelligence," in IEEE Internet of Things Journal, doi: 10.1109/JIOT.2021.3081556.

22. R. Dautov, S. Distefano, D. Bruneo, F. Longo, G. Merlino and A. Puliafito, "Data Processing in Cyber-Physical-Social Systems Through Edge Computing," in IEEE Access, vol. 6, pp. 29822-29835, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2839915.

23. A. Abramovich and R. Khunagov, "Harmonization of Cyber-physical Society," 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, 2013, pp. 1473-1478, doi: 10.1109/GreenCom-iThings-



CPSCCom.2013.260.

24. X. Wang, L. T. Yang, X. Xie, J. Jin and M. J. Deen, "A Cloud-Edge Computing Framework for Cyber-Physical-Social Services," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 11, pp. 80-85, Nov. 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1700360.

25. Huang, J. Marshall, D. Wang and M. Dong, "Towards Reliable Social Sensing in Cyber-Physical-Social Systems," 2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), 2016, pp. 1796-1802, doi: 10.1109/IPDPSW.2016.132.

26. V. Hacimahmud et al., "Structure and Metrics of Emerging Computing," 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2020, pp. 920-925, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235571.

27. S. Wang, A. Zhou, M. Yang, L. Sun, C. Hsu and F. Yang, "Service Composition in Cyber-Physical-Social Systems," in *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 8, no. 1, pp. 82-91, 1 Jan.-March 2020, doi: 10.1109/TETC.2017.2675479.

28. Y. Zhou, F. R. Yu, J. Chen and Y. Kuo, "Cyber-Physical-Social Systems: A State-of-the-Art Survey, Challenges and Opportunities," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 389-425, Firstquarter 2020, doi: 10.1109/COMST.2019.2959013.

29. H. Xia, F. Xiao, S. -S. Zhang, X. -G. Cheng and Z. -K. Pan, "A Reputation-Based Model for Trust Evaluation in Social Cyber-Physical Systems," in *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 792-804, 1 April-June 2020, doi: 10.1109/TNSE.2018.2866783.

30. V. Porkodi et al., "Resource Provisioning for Cyber-Physical-Social System in Cloud-Fog-Edge Computing Using Optimal Flower Pollination Algorithm," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 105311-105319, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2999734.

31. A. F. Abate, C. Bisogni, L. Cascone, A. Castiglione, G. Costabile and I. Mercuri, "Social Robot Interactions for Social Engineering: Opportunities and Open Issues," 2020 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech), 2020, pp. 539-547, doi: 10.1109/DASC-PiCom-CBDCom-CyberSciTech49142.2020.00097.

32. V. Hahanov, M. A. A. Hussein, A. Hahanova and K. L. Man, "Cyber physical computing," 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/EWDTS.2016.7807670.

33. N. Arora and G. Gabrani, "Significant Machine Learning and Statistical Concepts and their Applications in Social Computing," 2018 First International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC), 2018, pp. 57-61, doi: 10.1109/ICSCCC.2018.8703329.

34. X. Wang and H. Zhang, "Propagation of Social Emotion in Cyber Space Based on Cognitive Social Psychology," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 1005-1012, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2631732.



35. W. Gharibi, V. Hahanov, K. L. Man, S. Chumachenko, E. Litvinova and I. Hahanov, "Quantum Deterministic Computing," 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224950.

36. Gartner Top Strategic Technology Trends for 2021 [<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-strategic-technology-trends-for-2021/>]

37. "IEEE Guide for Architectural Framework and Application of Federated Machine Learning," in IEEE Std 3652.1-2020, vol., no., pp.1-69, 19 March 2021, doi: 10.1109/IEEESTD.2021.9382202.

38 Ameet Joshi. Machine Learning and Artificial Intelligence. Springer Nature Switzerland AG. 2020. 261 p. DOI 10.1007/978-3-030-26622-6

Abstract. *A new cybersocial computing of moral relations between the state and citizens is proposed, which play the role of tolerant mechanisms of management and implementation to create material values, improve the quality of life and preserve the environment. Computer engineering technologies are being formed, aimed at the harmonious sustainable development of society, which excludes social conflicts, revolutions and wars, on the basis of comprehensive metric monitoring and moral digital management. The main processes and phenomena of cyberphysical space are determined in order to use them to form a stable cybersocial world. Innovative models, methods and algorithms for the formation of scalable cybersocial human-free online computing are proposed, which aims to improve the quality of life of citizens and preserve the ecology of regions and the planet. The ML-model is considered in the form of a truth table to describe the process, phenomenon, person, social group, subject, where the metric parameters are morally and socially significant indicators. A universal xor-metric of convolution of digital cyberspace is formed, which makes it possible to measure any cybersocial processes and phenomena, as well as to determine the degree of their difference to recognize and eliminate social collisions L based on the equation $F \oplus T \oplus L = 0$. The structure of the cloud-mobile application Cyber Social Computing is proposed, which is characterized by the presence of artificial intelligence in the form of two ML-truth tables and qubit data structures for parallel modeling of social processes to predict social consequences. The model of Digital Twin Computing is considered, which is characterized by a comparison of two ML-tables of truth, modeling the ideal and real human behavior with the issuance of metric scores for social activity and significance, accepted in the community. An advanced model-architecture of cybersocial FML-computing is proposed, which differs from the standard by combining the process of learning, testing, operation and distribution of ML-terminals in space, which allows to reduce training time and improve the quality of recognition and decision-making services. An advanced cloud-edge cybersocial computing architecture for federated learning algorithms is proposed, which includes four phases: local training, uploading parameters to the cloud model, aggregating parameters on the cloud, and returning model parameters to terminals (Download). A logical metric for the quality of pattern, defect and collision recognition is introduced, which together with the computer equation makes it possible to form all structural and normalized estimates in the learning process.*

Key words: *Cyber Social Computing, Metrical Moral Relations, Cyber Space, Monitoring Social Metrics, Digital Governance, Smart Society, Social Engineering, Social Big Data Analytics, Machine Learning Society, Traditions-Legislation Difference, Online Cloud Services, Cyber Physical Computing, Human-free ML -management, Quantum Data Structures, General ML-Equation, Cybersocial ML-computing, Digital Twin of Cyber Social Computing, Federated Machine Learning.*

Стаття відправлена: 20.07.2021 р
© Хаханова А.В.



УДК 004.021

**ABOUT DEVELOPMENT OF A RECONFIGURABLE PARALLEL
SORTING SCHEME BY THE DATA SHUFFLING METHOD
О РАЗРАБОТКЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СХЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ
МЕТОДОМ ТАСОВКИ ДАННЫХ**

Paulin O. N. / Паулин О. Н.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*ORCID[^] 0000-0002-2210-8317**Stoljarchuk I.D. / Столярчук И. Д.***Odessa State Polytechnic University "Odessa Polytechnica",**Odessa, Shevchenko av., 1, 65044**Одесский Государственный Политехнический Университет**«Одесская политехника» Одесса, пр. Шевченко, 1, 65044*

Аннотация. Эта работа является продолжением работы [1], в которой предложен метод параллельной тасовки данных в несколько этапов, причём каждому этапу соответствует свой каскад схемы. Этот метод основан на механизме циклического сдвига данных, благодаря которому реализуется принцип «каждый с каждым». При этом в верхней половине входной последовательности собираются числа, меньшие любого числа из нижней её половины. Однако в общем случае обе обработанные половины последовательности не являются полностью упорядоченными. Из этого следует необходимость продолжения тасовки, но уже с подпоследовательностями половинной длины. Количество этапов тасовки определяется по формуле $m = \log_2 n$, где n – длина сортируемой последовательности, n – степень 2.

Анализ показывает, что новый подход не дает выигрыша ни по скорости, ни по сложности схемы тасующей сети (ТС). Для уменьшения сложности схемы предлагается использовать один каскад ТС с перестраиваемой коммутацией входов и выходов компараторов; разрабатывается такая коммутирующая сеть. В ней выявляются закономерности, которые позволяют получить соотношения для общего случая.

Ключевые слова: метод, параллельная тасовка, сдвиговый механизм, принцип «каждый с каждым», верхняя половина последовательности, нижняя половина последовательности, теорема, этап тасовки, каскад, коммутирующая сеть.

Вступление.

Проблема повышения эффективности сортировки не потеряла своей актуальности, несмотря на множество (по утверждению Nabr – около 80) модификаций классических методов [1]. Так, в [2] описана битоническая сортировка, реализуемая аппаратно. Её особенности:

- последовательно-параллельная сортировка, выполняемая рекурсивно;
- наличие множества компараторов, обрабатывающих на каждом этапе параллельно $n/2$ пар чисел, где n – длина сортируемой последовательности;
- схема устройства сортировки состоит из m каскадов, где $m = \log_2 n$;
- предварительное преобразование входной последовательности в битоническую с целью ускорения дальнейшей сортировки;
- на каждом из m этапов сортировки входная последовательность разбивается на две подпоследовательности половинной длины.

В [3] предложено преобразование входной последовательности в



битоническую заменить на *циклический сдвиговый механизм*, вводимый на каждом этапе сортировки. Нами такое решение названо *параллельной тасовкой* и соответственно для устройства сортировки предложено наименование *тасующая сеть* (ТС).

Однако такой подход не даёт ускорения по сравнению с битонической сетью. В то же время имеется возможность уменьшить сложность ТС.

Целью данной работы является снижение сложности ТС за счёт введения коммутации линий связи компараторов.

Для достижения этой цели решаются следующие **задачи**:

- выявление закономерностей в нумерации линий связи;
- построение схемы коммутации на основе закономерностей.

Основная часть

В [3] представлена структура тасующей сети (ТС), выполняющая полную сортировку. Рассмотрены особенности реализации сдвигового механизма. ТС строится рекурсивно; при этом на каждом этапе, начиная с первого, входные для каскада последовательности делятся пополам и для каждой половины проводится параллельная тасовка, включающая в себя сдвиги. На последнем этапе рекурсии, когда все подпоследовательности содержат по 2 элемента, тасовка вырождается в упорядочение всех пар.

Замечание.

Обработка последовательности чисел носит двойственный характер: внутренний связан со сравнением *значений* пары элементов на компараторе, а внешний связан с *номера*ми элементов этой пары.

Связь элементов через номера чисел последовательности в начальном состоянии (до включения сдвигового механизма) удобно представлять в формате линейки пронумерованных ячеек (рис. 1).

Поскольку на каждом этапе обработки входная для этапа последовательность делится на две линейки, то их удобно располагать одна под другой. При этом номера элементов верхней половины последовательности (ВП) и нижней половины последовательности (НП) связаны отрезками прямых, что отражает наличие компаратора, сравнивающего значения элементов.

Здесь тонкими линиями отделены самостоятельные фрагменты схемы при меньших значениях N , т.е. показана вложенность фрагментов.

Рассмотрим закономерности формирования линеек номеров элементов.

Разница номеров ВП и НП для начального состояния равна $\Delta n = n/2^m$.

Количество пар p линеек определяется (см. также таблицу внутри рис. 1) по формуле $p = 2^{k-1}$, где k – номер этапа сортировки, $k = 1..m$.

Базовым (начальным) номером назовём левый элемент ВП; обозначим его i_6 . Расстояние между базовыми элементами соседних линеек равно $\Delta i = 2^{m-k+1}$.

На рис.2 показана схема связей номеров элементов последовательности на всех этапах её обработки. Здесь компаратор изображён двумя жирными точками, которые соединены вертикальной линией. Верхние входы\выходы компараторов соответствуют ВП, а нижние – НП.

Нетрудно видеть, что общее количество компараторов равно $mn/2$.

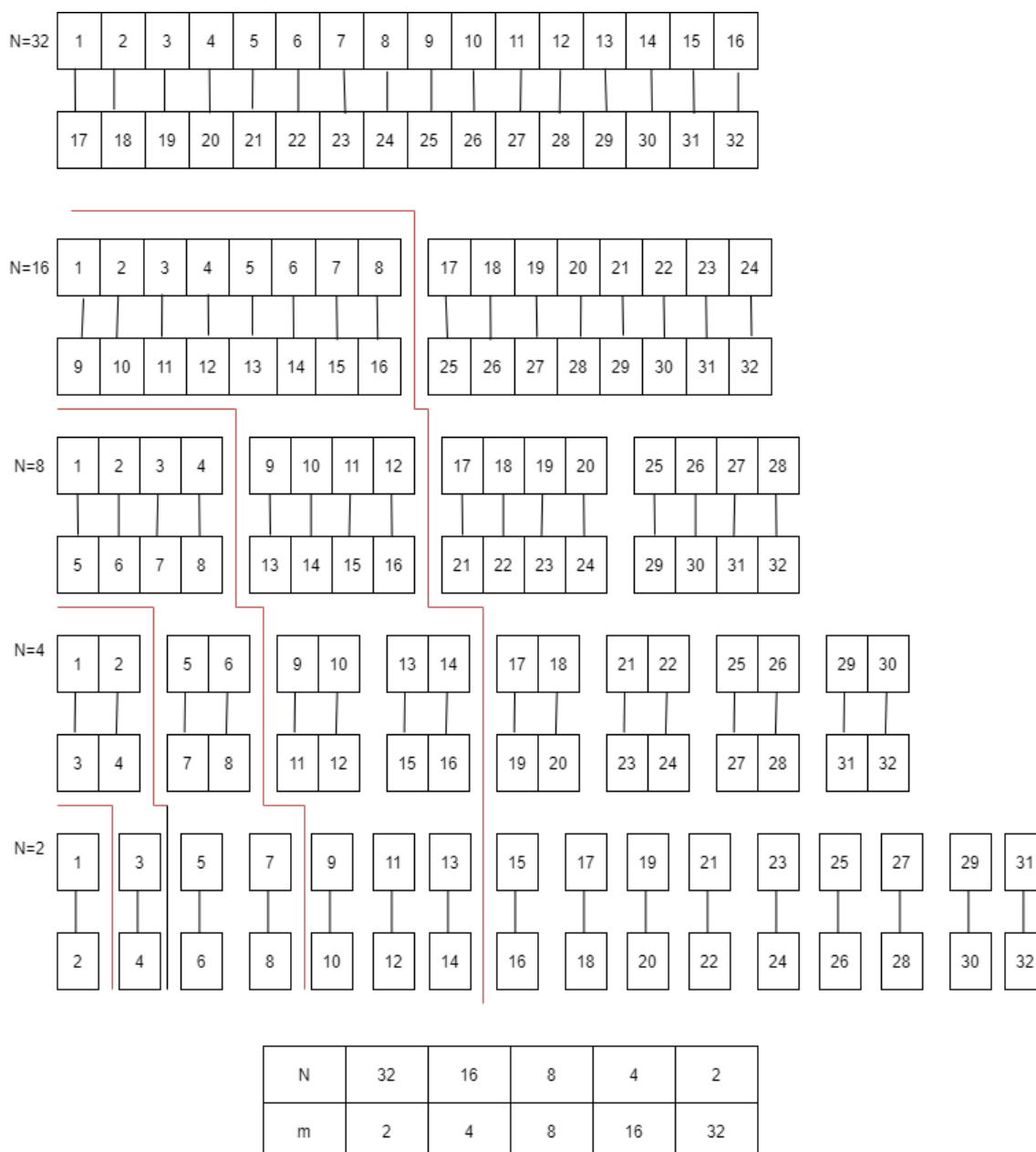


Рисунок 1 – Схема попарных сравнений ВП и НП при $n = \text{var}$.

В работе предложено процедуру обработки изменить таким образом, чтобы использовать только $n/2$ компараторов, но обеспечить нужную коммутацию линий связи на основе выявленных закономерностей.

В [3] приведена теорема о результате тасовки без её доказательства. В данной работе устраним этот недочёт.

Теорема. В результате параллельной тасовки выполняется условие: любой элемент ВП будет меньше любого элемента НП.

Доказательство (реализуемости условия).

Необходимость (полного циклического сдвига). При реализации принципа «каждый с каждым» любой элемент попадает в нужную половину последовательности в худшем случае за $n/2$ перемещений. Это и означает необходимость $n/2$ шагов тасовки для гарантированного выполнения условия, приведенного в теореме.

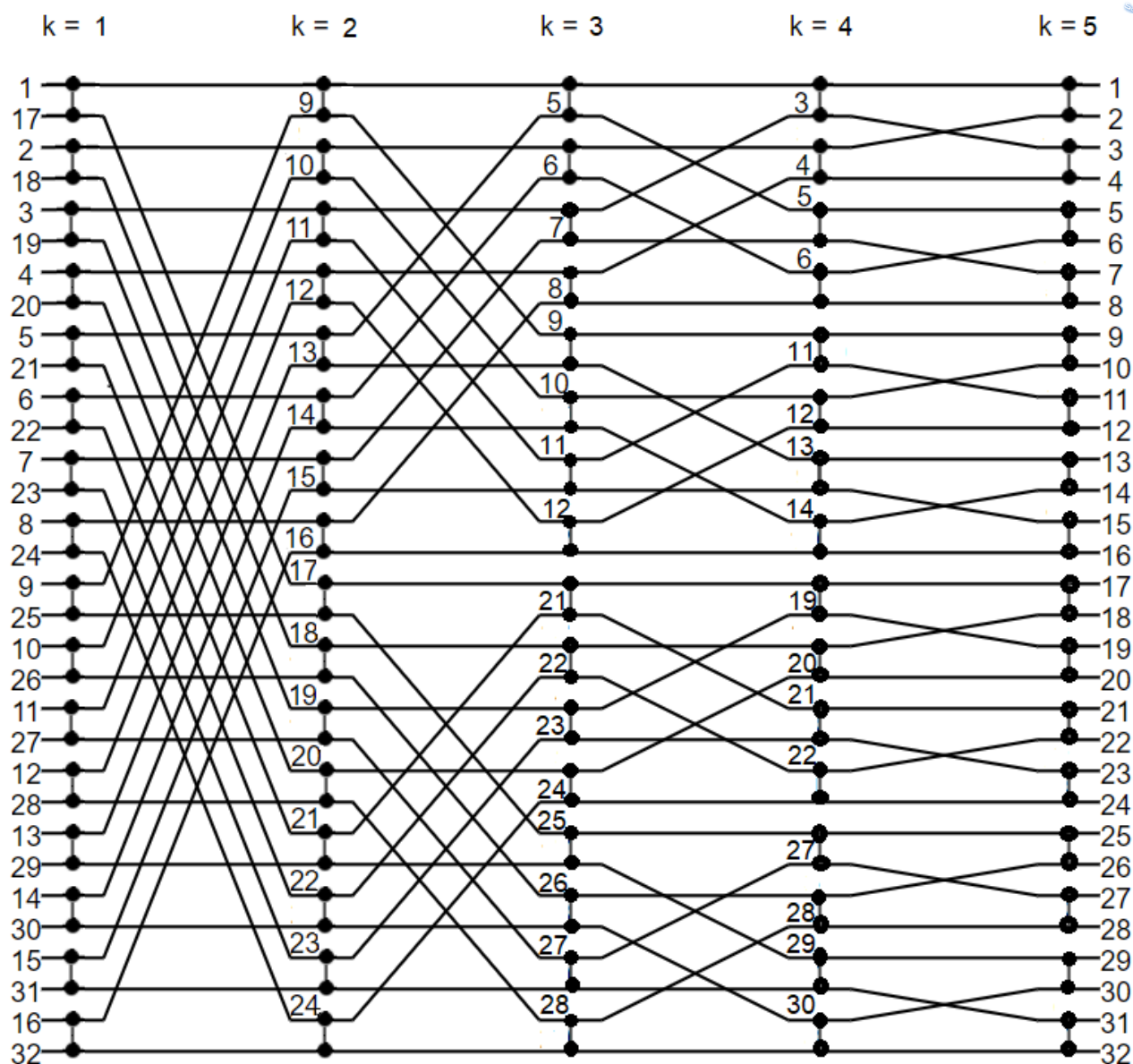


Рисунок 2 – Поэтапная схема связи номеров элементов последовательности

Достаточность (тасовки – дополнительных действий не требуется). Для некоторого шага тасовки в результате одновременного попарного сравнения элементов ВП и НП на всех позициях ВП окажутся меньше по величине элементы пары. Однако это не гарантирует выполнение означенного выше условия: в результате циклического сдвига элементы ВП могут оказаться в НП. При полном же сдвиге за $n/2$ шагов тасовки реализуется принцип «каждый с каждым» и даже в худшем случае ($n/2$ перемещений элемента) элемент окажется в ВП; остальные элементы с меньшими значениями окажутся в ВП даже раньше. Таким образом, дополнительных перемещений элементов не потребуется, т.е. тасовки достаточно для выполнения означенного условия.

Отметим, что выполнение данного условия в общем случае неполностью упорядочивает элементы половин последовательности. Из этого следует необходимость дальнейшей тасовки, но уже двух последовательностей половинного размера. Деление пополам осуществляется до тех пор, пока полученные части исходной последовательности не составят 2 элемента. Тогда



тасовка вырождается в простое упорядочивание этих пар элементов; таких пар будет $n/2$. После этого все результаты объединяются в отсортированную последовательность.

О построении матрицы коммутаций.

Из анализа снизу вверх рис. 1 для каждого номера верхней линии связи компаратора можно усмотреть смену номеров нижних его линий связи при переходе от этапа к этапу тасовки. В табл.1 приведена матрица коммутаций нижних линий связи компаратора при смене этапов для $n=32$.

Таблица 1

Матрица коммутаций

Номера верхних входов	Этапы тасовки					Код соответствия
	1	2	3	4	5	
1	2	3	5	9	17	11111
2	-	4	6	10	18	01111
3	4	-	7	11	19	10111
4	-	-	8	12	20	00111
5	6	7	-	13	21	11011
6	-	8	-	14	22	01011
7	8	-	-	15	23	10011
8	-	-	-	16	24	00011
9	10	11	13	-	25	11101
10	-	12	14	-	26	01101
...	...	...	...	...	...	...
32	-	-	-	-	-	00000

Отметим следующие особенности табл. 1.

1. 1-й столбец – это номера связей для верхнего входа\выхода компаратора.

Столбцы 2..5 – это номера связей для нижнего входа\выхода компаратора.

3. Прочерк означает, что нужный номер в нижней позиции отсутствует, т.е. коммутация отсутствует.

4. Последний столбец – это кодировка предыдущих столбцов; здесь 0 означает отсутствие коммутации, 1 – её наличие.

Выводы и заключение

Очевидным недостатком аппаратной реализации рассмотренных процедур сортировки (битонической, на основе сдвигового механизма, на основе сдвигового механизма и коммутации линий связи) является фиксированная длина сортируемой последовательности чисел. Однако идеи построения процедур сортировки достаточно просто реализуются программно. В этом случае важным является выявление закономерностей в организации связей номеров пары переменных, обрабатываемых конкретным программным компаратором. Последний столбец табл. 1 как раз и демонстрирует закономерности таких связей для $n = 32$, причём он вобрал в себя особенности предыдущих столбцов. Аналогичную таблицу нетрудно построить для



достаточно большого $n=2^m$, где $m=0,1,2, \dots$.

Для параллельной тасовки с коммутацией целесообразно использовать графический процессор.

Литература:

1. Кнут Д. Искусство программирования. Том 3. Сортировка и поиск: 2-е изд. – М.: Вильямс, 2000. – 844 с.
2. Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р. Алгоритмы: построение и анализ = Introduction to Algorithms. – М.: МЦНМО, 2000. – 960 с.
3. Паулин О.Н., Никитченко М.И. Разработка метода параллельной сортировки на основе компараторов/О.Н. Паулин, М.И. Никитченко//SW: Современные научные исследования. – Вып. 13. Том 1. – Минск: PE Yolnat, 2020. – С. 77-80. DOI: 10.30889/2523-4692.2020-13-01-033.

Abstract. This work is a continuation of work [1], in which a method of parallel shuffling of data in several stages is proposed, with each stage corresponding to its own stage of the circuit. This method is based on the mechanism of cyclic data shift, due to which the principle "each with each" is realized. In this case, in the upper half of the input sequence, numbers are collected that are less than any number from its lower half. However, in the general case, both processed halves of the sequence are not completely ordered. This implies the need to continue the shuffle, but with half-length subsequences. The number of shuffling stages is determined by the formula $m = \log_2 n$, where n is the length of the sequence to be sorted, and n is the degree 2.

The analysis shows that the new approach does not give a gain either in speed or in complexity of the shuffling network (SN) scheme. To reduce the complexity of the circuit, it is proposed to use one SN stage with reconfigurable switching of the inputs and outputs of the comparators; such a switching network is being developed. It reveals the regularities that make it possible to obtain relationships for the general case.

Key words: method, parallel shuffling, shearing mechanism, principle "each with each", upper half of the sequence, lower half of the sequence, shuffle stage, cascade, switching network.

Статья отправлена 17.06.2021
©Паулин О.Н., Столярчук И.Д.



УДК 577.352.4: 537.311

CELL CONDUCTIVITY AS A PROBABILITY PROCESS OF MEMBRANE ELECTROPORATION**ПРОВОДИМОСТЬ КЛЕТКИ КАК ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОПОРАЦИИ МЕМБРАНЫ****Shigimaga V.A. / Шигимага В.А.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-2508-8742

Kosulina N.G. / Косулина Н.Г.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-4055-8087

Chorna M.A. / Черная М.А.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-7011-1457

Borodai I.I. / Бородай И.И.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-1045-4076

*Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture,
Kharkiv, Alchevskih, 44, 61002**Национальный технический университет сельского хозяйства им.П.Василенко,
Харьков, Алчевских, 44, 61002*

Аннотация. В работе представлена математическая модель проводимости животной клетки, построенная на основе вероятности образования электропор в мембране под действием импульсного электрического поля (ИЭП). Модель предполагает, что в мембране образуются электропоры разного радиуса, согласно нормальному распределению Гаусса. Получено и решено дифференциальное уравнение для проводимости электропоры мембраны, включающее функцию вероятности образования электропор. На основе решения этого уравнения получен интеграл проводимости, связывающий ее с радиусом электропоры. Установлено, что основной причиной процесса экспоненциального роста проводимости живой клетки в ИЭП возрастающей напряженности в эксперименте является аналогичный процесс роста проводимости с ростом среднего радиуса электропор вплоть до разрыва мембраны.

Ключевые слова: мембрана, электропора, проводимость, вероятность, импульсное электрическое поле, напряженность.

Вступление.

Импульсное электрическое поле (ИЭП) широко используется в новейших биотехнологиях для электроманипуляции, которая лежит в основе современных методов клеточной, генной инженерии и биомедицины [22, 30, 35, 42, 57]. Основным методом электроманипуляции является электропорация – адекватное воздействие на транспортную функцию клеточной мембраны путем временного повышения ее проницаемости за счет образования электропор в ИЭП, которое формируется специальным оборудованием в жидкой среде с клетками [5, 12, 43, 44]. С точки зрения физического воздействия события, происходящие в мембране во время и после приложения внешнего поля, развиваются на основе электрического взаимодействия с мембраной, а затем, вероятно, на основе механического давления. И это давление возникает в результате электродиффузии под действием сил поля [2, 22, 48]. Однако, несмотря на то,



что обобщающие модели этого процесса на основе искусственных мембран смоделированы, механизм электропорации биологической мембраны до сих пор не до конца ясен. Предполагается, что установлен следующий факт: внешнее ИЭП, воздействуя на клетку, изменяет электрохимический потенциал по обе стороны мембраны и в результате разрушает двойной слой ее фосфолипидов [6, 10, 15, 20, 21, 26]. Это приводит к разделению и накоплению зарядов на мембране между цитоплазмой и внешней средой, что выражается в увеличении трансмембранного потенциала (ТМП). Тем самым он вызывает временную нестабильность в поляризованном липидном бислое [6, 7, 15, 16, 25, 28, 58]. Далее, нестабильное состояние мембраны запускает постепенное изменение ее формы на более энергетически выгодную путем формирования сквозных каналов различных радиусов. Они реализуются наноразмерными электропорами по всей мембране [1, 15, 16, 56]. Это явление определяется термином "электропорация". Таким образом, основным процессом, характеризующим электропорацию как биофизическое явление, является образование электропор в мембране под воздействием ИЭП.

Ввиду сложности структуры биологических систем на любом, в том числе клеточном уровне, попытка однозначно описать их в рамках одной или даже нескольких моделей для объяснения эффектов мембранной электропорации в ИЭП заранее обречена на провал [35]. Было построено множество таких моделей [15, 21, 23-26, 28, 36, 41, 45, 48, 52] и все они в той или иной степени лишь приближенно описали воздействие ИЭП на мембрану реальной биологической клетки.

Для моделирования электропорации мембран в ИЭП обычно предпочтительны простые биологические клетки, например, безъядерные эритроциты, которым посвящено огромное количество исследований, а также очень простые по структуре и поэтому предсказуемые по физическим свойствам искусственные билипидные мембраны (БЛМ) или абстрактные сферические клетки [11, 12, 22, 23, 25, 27, 28, 48]. Репродуктивные клетки животных и, особенно, многоклеточные эмбрионы, которые значительно сложнее по структуре и составу, очень сложны в качестве биообъектов для моделирования электропорации и связанной с ней электропроводности (проводимости). Поэтому моделирование проводящих свойств этих биообъектов практически неизвестно, за исключением нескольких недавних работ [22, 35, 38, 43, 45].

Применение метода электропорации требует обоснования определенных режимов обработки в ИЭП живых клеток, чтобы они оставались функциональными для дальнейшего использования, в частности, в биотехнологии размножения животных. Значение параметров этих режимов определяется, прежде всего, электрическими характеристиками мембраны, клетки и жидкой среды. Эти характеристики могут быть получены экспериментально при измерениях проводимости биологической клетки с использованием метода и аппаратуры импульсной кондуктометрии в возрастающем по напряженности ИЭП [14, 35, 37, 39, 41-44, 49, 50]. Возрастающая напряженность поля обеспечивает различную степень



электропорации мембраны и, следовательно, позволяет обосновать и рассчитать все необходимые режимы воздействия на клетку, основанные на ее возрастающей проводимости. Это позволяет в рамках единого аппаратно-методического процесса импульсной кондуктометрии не только реализовать известные приложения, но и разработать новые приложения этого метода в биотехнологии воспроизводства животных, биомедицине, а также экологии [35, 42, 46, 47, 51]. С другой стороны, обоснование параметров ИЭП в процессе импульсной кондуктометрии требует понимания физического механизма образования электропор различного радиуса с увеличением напряженности поля. Раскрытие этого механизма отчасти возможно с помощью представленного ниже моделирования клеточной проводимости, рассмотренной как вероятностный процесс электропорации мембраны, с использованием известных физических законов протекания через нее электрического тока, а также различных математических методов.

Постановка задачи.

Моделирование электропорации целесообразно начать с рассмотрения интегральной характеристики образования электропоры, - свободной энергии, учитывающей механический и электрический вклад сил при электропорации [1, 2, 4]. Электропора при этом аппроксимируется круглым цилиндром радиуса r и высотой h , равной толщине мембраны, (рисунок 1).

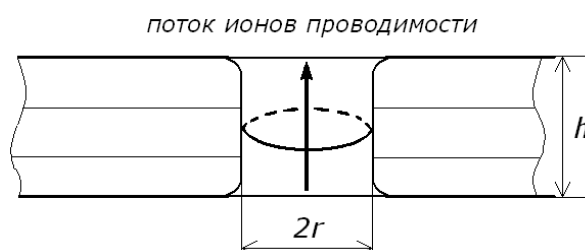


Рисунок 1 - Аппроксимация электропоры цилиндром на поверхности мембраны

Свободная энергия поры представляет собой в общем случае сумму:

$$\Delta E = \Delta E_m + \Delta E_e + E_o \quad (1)$$

где: ΔE_m - механическая составляющая, ΔE_e - электрическая составляющая, E_o - произвольная константа. Механическая составляющая энергии поры определяется выражением [1, 2, 4]:

$$\Delta E_m = \pi (2 E_p r - E_{mw} r^2) \quad (2)$$

где: E_p - линейная плотность энергии края поры, E_{mw} - поверхностная плотность энергии взаимодействия мембрана-вода.

Известно, что механический разрыв плоской мембраны достигается, если одна или несколько электропор превысят критический радиус $r > r_c$, где $r_c = E_p / E_{mw}$ [1, 2, 6]. Учитывая, что радиус клетки на 4-5 порядков превышает радиус электропор [2, 7, 19], кривизной поверхности мембраны в окрестности поры можно пренебречь и считать ее плоской.

Электрическая составляющая энергии (1) представляет пору как конденсатор с некоторой проводимостью утечки [1, 2]:



$$\Delta E_e = -\frac{\pi(\varepsilon_w - \varepsilon_l)U^2}{h^2} \int_{r_{\min}}^r g^2 r dr \quad (3)$$

где: ε_w и ε_l - диэлектрическая проницаемость воды и липидов мембраны соответственно, U - трансмембранный потенциал (ТМП), $g(r)$ - функция, учитывающая эффект деления внешнего напряжения, связанный с распределением сопротивления на краю (к раствору) и внутри поры. Эта функция записывается следующим образом [2]:

$$g(r) = \left[\frac{2h G_s}{2h G_s + \pi r G_p(r)} \right] \quad (4)$$

где: G_p и G_s - проводимость внутри поры и раствора у входа в пору соответственно. Эффект деления напряжения имеет следующее физическое объяснение. В растворе около входа в пору существует неоднородное электрическое поле. Связанное с ним падение напряжения оценивается путем введения моделирующего резистора с сопротивлением R_s , величина которого задается формулой [2]:

$$R_s \approx \frac{1}{2G_s r} \quad (5)$$

Соответственно внутреннее сопротивление поры R_p оценивается через ее проводимость G_p [2]:

$$R_p = \frac{h}{\pi r^2 G_p} \quad (6)$$

Эти сопротивления R_s и R_p включены последовательно, образуя делитель напряжения, что и приводит к уменьшению ТМП за счет падения на R_s . Учитывая эти сопротивления, ток через электропору, согласно закону Ома, можно записать, так:

$$I_p = \frac{U}{R_s(r) + R_p(r)} \quad (7)$$

Для вычисления суммарного тока через поверхность всей мембраны, электропорированной силой ИЭП, введем понятие плотности вероятности образования электропор $n(r, t)$, как функции, зависящей от радиуса (калибра) поры и времени. Комбинация различных физических сил (1) управляет процессом эволюции пор [2, 54], поэтому в мембране возникают поры разного радиуса. Распределение по радиусам можно описать функцией плотности $p(r)$. Предполагается, что количество электропор $w(t)$ изменяется во времени благодаря их возникновению и репарации тех, что имеют радиус $r_{\min}$. Из этих предположений следует, что распределение по радиусам и времени – две независимые функции, поэтому можно записать, что плотность вероятности образования электропор есть функция их произведения:

$$n(r, t) = p(r)w(t) \quad (8)$$



Определив плотность вероятности образования электропор, можно записать уравнение для общего тока через мембрану [1, 2]:

$$I(r, t) = U \int_{r_{\min}}^r \left[\frac{n(r, t)}{R_s(r) + R_p(r)} \right] dr \quad (9)$$

Из формулы (9), используя соотношения (5) и (6), следует уравнение для общей проводимости электропорированной мембраны:

$$G(r, t) = \int_{r_{\min}}^r \left[\frac{n(r, t)}{R_s(r) + R_p(r)} \right] dr = 2\pi \int_{r_{\min}}^r \left[\frac{G_s G_p r^2}{2h G_s + \pi r G_p} n(r, t) \right] dr \quad (10)$$

Таким образом, решение уравнения (10), включая нахождение вида функции $n(r, t)$, будет означать построение вероятностной модели электропорации мембраны и связанной с ней проводимости клетки.

Построение вероятностной модели электропорации и проводимости мембраны.

Для определения общего вида функции плотности вероятности образования электропор $n(r, t)$ можно использовать дифференциальное уравнение скорости изменения этой величины, выведенное на основе уравнения Смолуховского [13, 32]:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D_p \left[\frac{\partial^2 n}{\partial r^2} + \frac{1}{kT} \frac{\partial}{\partial r} \left(n \frac{\partial \Delta E}{\partial r} \right) \right] \quad (11)$$

где: D_p - эффективная константа диффузии для поры, радиуса r [11]. Величина ΔE , взятая в виде (1), в уравнении (11) имеет решающее значение, поскольку $(\partial \Delta E / \partial r)_U$ есть эффективная сила, изменяющая радиус пор.

Далее, объемная проводимость раствора есть функция концентрации и подвижности ионов, находящихся в нем [2]:

$$G_s = \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i \quad (12)$$

где: z_i - заряд, α_i - подвижность и C_i - концентрация i -го иона, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл (заряд электрона).

Предполагается, что транспорт ионов через мембрану происходит путем пропускания их через пору, которая достаточно велика, чтобы содержать гидратированные ионы, например Na^+ и Cl^- . Однако наличие ионов в мелких порах требует учета эффекта, тормозящего их движение [2, 48, 58]. Таким образом, в отличие от раствора, объемная проводимость в поре уменьшается:

$$G_p = \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i H_i \exp \left(\frac{\mu_i^o}{kT} \right) \quad (13)$$

где: μ_i^o - стандартный химический потенциал i -го иона внутри поры, H_i - фактор помехи движению иона в поре - функция Ренкина [2]:

$$H_i = H(r, r_i) = \left[1 - \left(\frac{r_i}{r} \right) \right]^2 \left[1 - 2,1 \left(\frac{r_i}{r} \right) + 2,09 \left(\frac{r_i}{r} \right)^3 - 0,95 \left(\frac{r_i}{r} \right)^5 \right] \quad (14)$$



Упрощая громоздкие дальнейшие вычисления с выражением (14), путем ограничения слагаемых высших степеней малой величиной, будем считать, что функцию (14) можно записать в виде:

$$H(r, r_i) = 1 - 4,1 \left(\frac{r_i}{r} \right) + \overline{O} \left[\left(\frac{r_i}{r} \right)^2 \right] \quad (15)$$

Подставляя функцию (15) в уравнение (13), получаем выражение для проводимости внутри поры:

$$G_p = \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i \left[1 - 4,1 \left(\frac{r_i}{r} \right) \right] \exp \left(\frac{\mu_i^o}{kT} \right) + \overline{O} \left[\left(\frac{r_i}{r} \right)^2 \right] \quad (16)$$

Введем также с целью упрощения записи вычислений обозначение:

$$b_i := \exp \left(\frac{\mu_i^o}{kT} \right) \quad (17)$$

Далее последовательно подставим в уравнение для электрической составляющей энергии (3) записанные выше уравнения (4), (12) и (13):

$$\begin{aligned} \Delta E_e &= - \frac{\pi(\varepsilon_w - \varepsilon_l)U^2}{h^2} \int_{r_{\min}}^r \left[\frac{2h G_s}{2h G_s + \pi r G_p(r)} \right]^2 r dr = \\ &= -4\pi(\varepsilon_w - \varepsilon_l)U^2 \ln \left(\frac{r + \frac{2h}{\pi b_i} - 4,1r_i}{r_{\min} + \frac{2h}{\pi b_i} - 4,1r_i} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{4h}{\pi b_i} - 8,2r_i \right) \right] \end{aligned} \quad (18)$$

Возвращаясь к плотности вероятности порообразования, заметим, что при обратимой электропорации мембраны в ИЭП количество образующихся электропор составляет порядок $\sim 10^4 - 10^5$ [1, 19]. Поэтому можно смело утверждать, что распределение электропор по радиусам в любой момент их эволюции подчиняется статистике Гаусса. Следовательно, можно ввести соответствующую плотность вероятности для $p(r)$:

$$n(r, t) = p(r)w(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{r^2}{2} \right) w(t) \quad (19)$$

Подставляя соотношения (1),(2),(18),(19) в уравнение (11), получаем дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = A(r)w(t) \quad (20)$$

где: $A(r)$ - обозначение части функции, зависящей от радиуса поры.

Решение уравнения (20) имеет вид:

$$w(t) = \exp[A(r)t] \quad (22)$$

Таким образом, функция $n(r, t)$ из выражения (19) с использованием решения (22) примет вид:



$$n(r, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[A(r)t - \frac{r^2}{2} \right] \quad (23)$$

Для получения окончательного вида функции общей проводимости мембраны, подставим полученную вероятность (23) в формулу (10), последовательно учтя выражения (5),(6),(12),(13),(15)-(17), после чего проведем интегрирование:

$$\begin{aligned} G(r, t) &= \int_{r_{\min}}^r \left[\frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[A(r)t - \frac{r^2}{2} \right]}{\frac{1}{2G_s r} + \frac{h}{\pi r^2 G_p}} \right] dr = \\ &= 2\pi h \left(\exp \left(A(r) - \frac{r^2}{2} \right) \exp \left(\frac{2\pi E_p D_p}{kT} t \right) \right) \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i + \\ &+ \left(\exp \left(A(r) - \frac{r^2}{2} \right) \right) \frac{1}{t} \left(\frac{\frac{1}{\pi} - \frac{2,05}{h} \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i r_i b_i - 8,2\pi \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i r_i b_i}{2\sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i (2h - 4,1\pi)}} \right) \cdot \\ &\cdot \left[\frac{\ln \left| r - \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i (2h - 4,1\pi) \right|}{\ln \left| r + \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i (2h - 4,1\pi) \right|} - \frac{\ln \left| r_{\min} - \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i (2h - 4,1\pi) \right|}{\ln \left| r_{\min} + \sum_{i=1}^n (z_i e)^2 \alpha_i C_i (2h - 4,1\pi) \right|} \right] \quad (24) \end{aligned}$$

В формуле (24) была использована оценка:

$$\exp \left[A(r) - \frac{r^2}{2} \right] \leq \exp \left(- \frac{2\pi E_p D_p}{kT} t \right) \quad (25)$$

Полученную формулу (24) можно значительно упростить, заменив сложные алгебраические выражения, не содержащие переменных r и t , на некоторые константы в следующем виде:

$$G(r, t) = \exp \left(A(r) - \frac{r^2}{2} \right) \left\{ \exp \left(\frac{2\pi E_p D_p}{kT} t \right) \cdot K_1 + \frac{K_2}{2t\sqrt{K_3}} \cdot \left[\frac{\ln |r - K_3|}{\ln |r + K_3|} - K_4 \right] \right\} \quad (26)$$

где K_i - константы, $i = 1, 2, 3, 4$.

Анализируя формулу (26), полученную на основе рассмотрения вероятности образования электропор в мембране, можно заметить, что зависимость проводимости от радиуса электропоры имеет экспоненциальный характер. Если предположить, что радиус электропор является средним (наиболее вероятным) значением при данной напряженности ИЭП, то согласно формуле (26) получаем среднее значение проводимости при среднем радиусе в момент времени t . Тогда с ростом напряженности ИЭП средний радиус электропор и проводимость также будут экспоненциально расти, а формулу (26) можно рассматривать как функцию, описывающую этот процесс. Такое предположение правомерно, поскольку средний радиус электропор



практически линейно зависит от напряженности поля в режиме обратимой электропорации, а при необратимой – экспоненциально [8, 15, 27]. Причем, для модельной функции (26) введено ограничение справа в виде $r_{\max} = 2r_c$ (рис. 2а), поскольку радиус электропор растет только до момента разрыва мембраны. Временной зависимостью проводимости в данном случае можно пренебречь, т.к. время репарации электропор (в режиме обратимой электропорации) значительно меньше выбранного периода изменения напряженности ИЭП.

Обсуждение.

Для нахождения характерных параметров, определяющих состояние мембраны и ее целостность, можно построить несколько теоретических моделей, основанных на аппроксимации экспериментальных зависимостей различными функциями. Эти параметры обусловлены технологической необходимостью воздействия на клетки ИЭП для осуществления электрослияния, стимуляции, электрического пробоя и т.д. [9, 14, 15, 19, 22, 23, 33, 35, 39, 40, 45, 47, 49, 50].

Однако следует особо отметить, что в известных моделях проводимость клеток, как естественный показатель процесса электропорации мембраны, практически не используется в качестве измеряемого параметра [3, 9, 25, 29, 30, 34, 53]. Воздействие на мембрану и клетку ИЭП возрастающей напряженности также практически не рассматривается, за исключением небольшого числа работ по моделированию [17, 18, 29, 35, 43, 44].

Интересно отметить, что вероятностный или статистический подход в последнее время практически не используется в моделировании. Тем не менее, в продуктивности одного из этих подходов можно убедиться на примере альтернативной модели электропорации, предложенной в работе [8]. Однако эта работа носит скорее прикладной характер, т.к. в ней рассматривается только необратимая электропорация в связи с применением этого эффекта в клинической практике для лизиса определенных клеток в ткани. Преимущества использования воздействия на клетку ИЭП возрастающей напряженности становятся очевидными в контексте приведенного выше результата моделирования проводимости, основанного на представлении электропорации мембраны как вероятностного процесса, который представлен формулой (26).

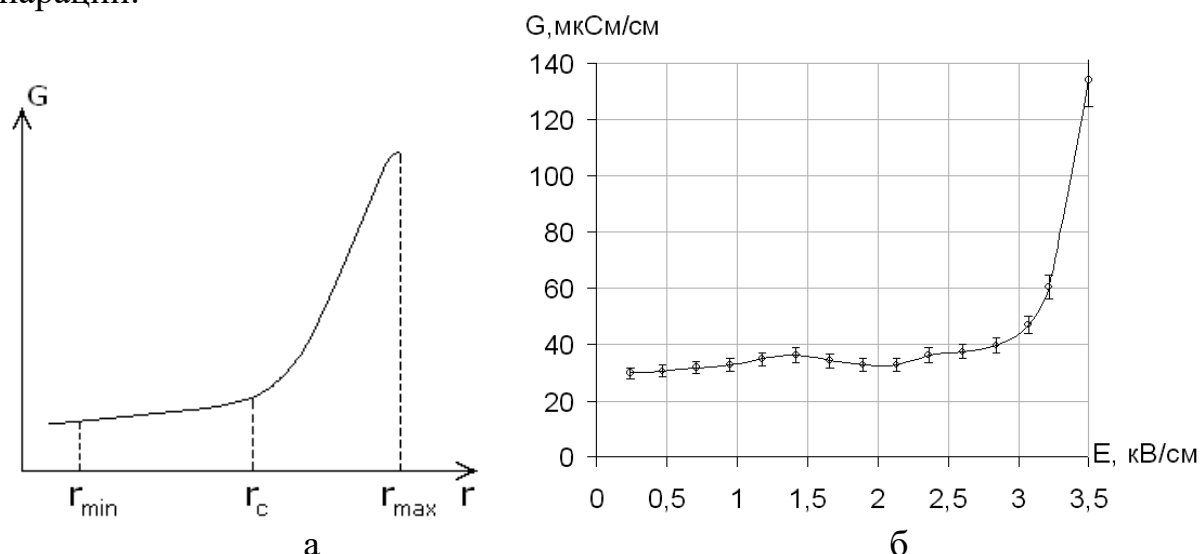
Функция (26), схематически показанная на (рис. 2а), качественно совпадает с данными экспериментов по измерению проводимости живых клеток в ИЭП возрастающей напряженности [5, 17, 18], (рис. 2б).

Минимальный радиус электропор и проводимость определяются свойствами мембраны и физико-химическими факторами раствора, содержащего клетку, а также небольшой напряженностью ИЭП. С ростом напряженности ИЭП процесс электропорации развивается следующим образом.

Средний радиус электропор постепенно растет, достигая критического, а выше определенного значения поля (индивидуально для клетки со всеми факторами раствора) при $r > r_c$ и далее до $r_{\max}$ мембрана необратимо разрывается. Это отвечает критической напряженности необратимого электропробоя, которая определяется в точке максимальной кривизны



проводимости [35, 43, 45], (рис. 2б). Интервал $r_{\min} < r < r_c$ соответствует фазе обратимой электропорации мембраны с различной степенью ее повреждения и репарации.



**Рисунок 2 - а) зависимость проводимости мембраны от радиуса электропор по вероятностной модели электропорации;
б) экспериментальная зависимость проводимости ооцита мыши от напряженности поля.**

Выводы.

1. Из построенной модели следует, что проводимость клетки можно представить как результат вероятностного процесса электропорации мембраны.
2. Основной причиной экспоненциального роста проводимости клетки в ИЭП возрастающей напряженности является аналогичный рост проводимости мембраны с ростом среднего радиуса электропор вплоть до ее разрыва.
3. Построенная модель проводимости клетки при электропорации мембраны в ИЭП возрастающей напряженности адекватна экспериментальным данным.

References

1. Böckmann, R. A., De Groot, B. L., Kakorin, S., Neumann, E., & Grubmüller, H. (2008). Kinetics, statistics, and energetics of lipid membrane electroporation studied by molecular dynamics simulations. *Biophysical Journal*, 95(4), 1837–1850. doi:10.1529/biophysj.108.129437
2. Chang, D. C., Chassy, B. M., Saunders, J. A., & Sowers, A. E. (2012). *Guide to Electroporation and Electrofusion*. 2nd ed. Academic Press, 569. doi:10.1016/C2009-0-21564-9
3. Dehez, F., Delemotte, L., & Kramar, P. (2014). Evidence of conducting hydrophobic nanopores across membranes in response to an electric field. *Journal of Physical Chemistry*, 118, 6752–6757. doi:10.1021/jp4114865
4. Den Otter, W. K. (2009). Free energies of stable and metastable pores in lipid membranes under tension. *Journal of Chemical Physics*, 131(20), 205101. doi:10.1063/1.3266839



5. Dermol-Cerne, J., & Miklavčič, D. (2018). From cell to tissue properties-modeling skin electroporation with pore and local transport region formation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 65, 458–468. doi:10.1109/TBME.2017.2773126
6. Fernández, M. L., Risk, M. R., & Vernier, P. T. (2018). Electropore Formation in Mechanically Constrained Phospholipid Bilayers. *Journal of Membrane Biology*, 251, 237. doi:10.1007/s00232-017-0002-y
7. Fuertes, G., Giménez, D., Esteban-Martín, S., Sánchez-Munoz, O. L., & Salgado, J. (2011). A lipocentric view of peptide-induced pores. *European Biophysics Journal*, 40(4), 399–415. doi:10.1007/s00249-011-0693-4
8. Golberg, A., & Rubinsky, B. (2010). A statistical model for multidimensional irreversible electroporation cell death in tissue. *Biomedical Engineering Online*, 26, 9–13. doi:10.1186/1475-925X-9-13
9. Gowrishankar, T. R., Smith, K. C., & Weaver, J. C. (2013). Transport-Based Biophysical System Models of Cells for Quantitatively Describing Responses to Electric Fields. *Proceedings of the IEEE*, 101(2), 505–517. doi:10.1109/JPROC.2012.2200289
10. Gurtovenko, A. A., & Lyulina, A. S. (2014). Electroporation of asymmetric phospholipid membranes. *Journal of Physical Chemistry*, 118, 9909–9918. doi:10.1021/jp5028355
11. Hoiles, W., Krishnamurthy, V., Cranfield, C. G., & Cornell, B. (2014). An Engineered Membrane to Measure Electroporation: Effect of Tethers and Bioelectronic Interface. *Biophysical Journal*, 107(6), 1339–1351. doi:10.1016/j.bpj.2014.07.056
12. Hoiles, W., Krishnamurthy, V., & Cornell, B. (2018). *Dynamics of Engineered Artificial Membranes and Biosensors*, Cambridge University Press, 475. doi:10.1017/9781108526227
13. Kamenshchikov, S. A. (2014). Transport Catastrophe Analysis as an Alternative to a Monofractal Description: Theory and Application to Financial Crisis Time Series. *Journal of Chaos*, 1–8. doi:10.1155/2014/292096
14. Kolesnikova, A. A., Shigimaga, V. A., & Smolyaninova, E. I. (2013). Effect of the stimulated maturation and fertilization on the electric conductivity and fertilization of mouse oocytes. *Fundamental'nye issledovaniya*, 4(4), 896–899 (in Russian).
15. Kotnik, T., Kramar, P., Pucihar, G., Miklavčič, D., & Tarek, M. (2012). Cell membrane electroporation: the phenomenon. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 1(28), 14–23. doi:10.1109/MEI.2012.6268438
16. Kotnik, T., Pucihar, G., & Miklavčič, D. (2010). Induced transmembrane voltage and its correlation with electroporation-mediated molecular transport. *Journal of Membrane Biology*, 236, 3–13. doi:10.1007/s00232-010-9279-9
17. Kramar, P., Miklavčič, D., & Lebar, A. M. (2007). Determination of the lipid bilayer breakdown voltage by means of linear rising signal. *Bioelectrochemistry*, 70(1), 23–27. doi:10.1007/978-3-540-73044-6_147
18. Kramar, P., Delemotte, L., Maček Lebar, A., Kotulska, M., Tarek, M., & Miklavčič, D. (2012). Molecular level characterization of lipid membrane



electroporation using linearly rising current. *Journal of Membrane Biology*, 245(10), 651–659. doi:10.1007/s00232-012-9487-6

19. Krassowska, W., & Filev, P. D. (2007). Modeling Electroporation in a Single Cell. *Biophysical Journal*, 92, 404–417. doi:10.1529/biophysj.106.094235

20. Luitel, P., Schroeter, D. F., & Powell, J. W. (2012). Self-electroporation as a model for fusion pore formation. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 24(5), 495–503. doi:10.1080/07391102.2007.10507138

21. Mahnič-Kalamiza, S., Miklavčič, D., & Vorobiev, E. (2014). Dual-porosity model of solute diffusion in biological tissue modified by electroporation. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1838, 1950–1966. doi:10.1016/j.bbamem.2014.03.004

22. Miklavčič, D. (2017). *Handbook of Electroporation* 1st ed. Springer International Publishing, Switzerland, 2316. doi:10.1007/978-3-319-32886-7

23. Miklavčič, D. (2012). Network for Development of Electroporation-Based Technologies and Treatments. *Journal of Membrane Biology*, 245, 591–598. doi:10.1007/s00232-012-9493-8

24. Miklavčič, D., & Towhidi, L. (2010). Numerical study of the electroporation pulse shape effect on molecular uptake of biological cells. *Radiology and Oncology*, 44(1), 34–41. doi:10.2478/v10019-010-0002-3

25. Morshed, B. I., Shams, M., & Mussivand, T. (2013). Deriving an electric circuit equivalent model of cell membrane pores in electroporation. *Biophysical Reviews and Letters*, 8(1), 21–32. doi:10.1142/S1793048012500099

26. Neu, W. K., & Neu, J. C. (2009). *Theory of Electroporation. Cardiac Bioelectric Therapy*. Springer, Boston, MA. doi:10.1007/978-0-387-79403-7_7

27. Pavlin, M., Kotnik, T., Miklavčič, D., Kramar, P., & Lebar, A. (2008). Electroporation of Planar Lipid Bilayers and Membranes: In *Advances in Planar Lipid Bilayers and Liposomes*, 6, 165–226. doi:10.1016/S1554-4516(07)06007-3

28. Polak, A., Tarek, M., Tomsic, M., Valant, J., Ulrih, N. P., Jamnik, A., Kramar, P., & Miklavčič, D. (2014). Electroporation of archaeal lipid membranes using MD simulations. *Bioelectrochemistry*, 100, 18–26. doi:10.1016/j.bioelechem.2013.12.006

29. Pucihar, G., Krmelj, J., Reberšek, M., Napotnik, T.B., & Miklavčič, D. (2011). Equivalent Pulse Parameters for Electroporation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(11), 3279–3288. doi:10.1109/TBME.2011.2167232

30. Rems, L., Tarek, M., Casciola, M., & Miklavčič, D. (2016). Properties of lipid electropores II: comparison of continuum-level modeling of pore conductance to molecular dynamics simulations. *Bioelectrochemistry*, 112, 112–124. doi:10.1016/j.bioelechem.2016.03.005

31. Rems, L., & Miklavčič, D. (2016). Tutorial: electroporation of cells in complex materials and tissue. *Journal of Applied Physics*. 119. doi:10.1063/1.4949264

32. Risken, H., & Frank, T. (2011). *The Fokker-Planck Equation: Methods of Solution and Applications* (Springer), 485. doi:10.1007/978-3-642-61544-3

33. Saulis, G., Saule, R., Bitinaite, A., Zurauskiene, N., Stankevicius, V., & Balevicius, S. (2013). Theoretical analysis and experimental determination of the relationships between the parameters of the electric field pulse required to



electroporate the cells. IEEE Transactions on Plasma Science, 41, 2913. doi:10.1109/TPS.2013.2276918

34. Schmeer, M., Seipp, T., Pliquett, U., Kakorin, S., & Neumann, E. (2004). Mechanism for the conductivity changes caused by the membrane electroporation of CHO cell pellets. Journal of Physical Chemistry, 6, 5564–5574. doi:10.1039/b411037d

35. Shigimaga, V. A. (2014). Biotekhnicheskij kompleks impul'snoj konduktometrii i e'lektromanipulyacii s kletkami zhivotnyx: avtoref. dis. d-ra texn. nauk. Xar'kov, 36 (in Ukrainian).

36. Shigimaga, V. A., Levkin, D. A., & Megel', Ju. E. (2012). Matematicheskoe modelirovanie membrany v svjazi s provodimost'ju kletki v razlichnyh rastvorah. VEZhPT, 4(58), 32–35 (in Ukrainian).

37. Shigimaga, V. A., & Megel', Ju. E. (2011). Issledovanie provodimosti kletok pri izmenenii osmoticheskoy koncentracii sredy. Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, 2/5(50), 53–55 (in Ukrainian).

38. Shigimaga, V. A., Megel', Ju. E., Kovalenko, S. N., & Kovalenko, S. V. (2017). Modelirovanie i analiz parametrov jelektroporacii membrany biologicheskoy kletki v impul'snom jelektricheskom pole s izmenjaemoj napryazhennost'ju. Radioelektronika, informatika, upravlenie, 4, 57–65. doi:10.15588/1607-3274-2017-4-7

39. Shigimaga, V. A., & Megel', Ju. E. (2011). Metod opredelenija provodimosti oocitov i jembrionov v razlichnyh uslovijah dijelektricheskoy sredy. Vestnik NTU HPI, sbornik trudov (Novye reshenija v sovremennoj tehnologii). Har'kov, 9, 140–144 (in Ukrainian).

40. Shigimaga, V. A., & Megel', Ju. E. (2012). Primenenie metoda impul'snoj konduktometrii dlya issledovaniya e'lektricheskix xarakteristik biologicheskix kletok. Trudy Instituta e'lektrodinamiki NANU, 31, 147–155 (in Ukrainian).

41. Shigimaga, V. A. (2013). Nonlinear electric model of biological cell conductivity. Technical Electrodynamics, 6, 30–35 (in Ukrainian).

42. Shigimaga, V. A. (2015). Pulsed conductometry in a variable electric field: outlook for the development of measurements. Measurement Techniques. Springer New York. LCC, 57(10), 1213–1218. doi:10.1007/s11018-015-0605-6

43. Shigimaga, V. A. (2013). Pulsed conductometer for biological cells and liquid media. Measurement Techniques. Springer New York, LCC, 55(11), 1294–1300. doi:10.1007/s11018-013-0124-2

44. Shigimaga, V. A. (2017). Differential pulsed conductometer for measurements of the conductivity of biological cells. Measurement Techniques. Springer New York, LCC, 60(7), 746–750. doi: 10.1007/s11018-017-1265-5

45. Shigimaga V.A., Faizullin R.A., Osokina A.S. (2021). Mathematical modeling of mouse cell's conductivity in pulsed electric field. Applied Biological Research, 23(2), pp.188-195.

46. Shigimaga V., Blagov I., Kalimanova I. (2020). Conductometry of natural waters in pulsed electric field with rising strength. Proceedings 30th National scientific symposium "Metrology and metrology assurance 2020" 7-11.09.20, Sozopol, Bulgaria, pp. 1-4.



47. Shigimaga V.A. (2019). Conductometry in Pulsed Electric Field with Rising Strength: Bioelectrochemical Applications. *Analytical and Bioanalytical Electrochemistry*, 11(5), pp.598-609.
48. Smith, K. C., & Weaver, J. C. (2012). Electrodifusion of Molecules in Aqueous Media: A Robust, Discretized Description for Electroporation and Other Transport Phenomena. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(6), 1514–1522. doi:10.1109/TBME.2011.2180378
49. Smol'janinova, E. I., Kolesnikova, A. A., & Shigimaga, V. A. (2009). Vpliv gormonal'noi' stimuljacii' na morfologichni ta elektrichni parametri oocitiv mishi. *Biologija tvarin. L'viv*, 11(1-2), 328–337 (in Ukrainian).
50. Smol'janinova, E. I., Shigimaga, V. A., Strixa, O. A., Popivnenko, L. I., & Gordienko, E. A. (2014). E'lektricheskaya provodimost' kak diagnosticheskij parametr ocenki kachestva oocitov i e'mbrionov mlekopitayushhix v biotexnologicheskix operacijax. *Biofizika zhivoj kletki*, 10, 193–195 (in Russian).
51. Smolyaninova Y.I., Shigimaga V.A., Kolesnikova A.O., Popivnenko L.I., Todrin A.F.. (2018). Electric Conductivity and Resistance of Mouse Oocyte Membranes to Effect of Pulsed Electric Field in Cryoprotectant Solutions. *Probl Cryobiol Cryomed*, 28(4), pp.311-321. DOI:10.15407/cryo28.04
52. Son, R. S., Smith, K. C., Gowrishankar, T. R., Vernier, P. T., & Weaver, J. C. (2014). Basic features of a cell electroporation model: Illustrative behavior for two very different pulses. *Journal of Membrane Biology*, 247, 1209–1228. doi:10.1007/s00232-014-9699-z
53. Suzuki, D. O., Ramos, A., Ribejro, M. C., Cazarolli, L. H., Silva, F. R., Leite, L. D., & Marques, J. L. (2011). Theoretical and experimental analysis of electroporated membrane conductance in cell suspension. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58, 3310–3318. doi:10.1109/TBME.2010.2103074
54. Talele, S., & Gaynor, P. (2010). Modelling Control of Pore Number and Radii Distribution in Single-Cell Electroporation. In: *Technological Developments in Networking, Education and Automation*. Springer Science+Business Media, 231–236. doi:10.1007/978-90-481-9151-2_40
55. Towhidi, L., Kotnik, T., Pucihar, G., Firoozabadi, S. M., Mozdarani, H., & Miklavčič, D. (2008) Variability of the minimal transmembrane voltage resulting in detectable membrane electroporation. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 27(4), 372–385. doi:10.1080/15368370802394644
56. Wang, M., Orwar, O., Olofsson, J., & Weber, S. G. (2010). Single-cell electroporation. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 397(8), 3235–3248. doi:10.1007/s00216-010-3744-2
57. Yarmush, M. L., Golberg, A., Serša, G., Kotnik, T., & Miklavčič, D. (2014). Electroporation-based technologies for medicine: principles, applications, and challenges. *Annual review of biomedical engineering*, 16, 295–320. doi:10.1146/annurev-bioeng-071813-104622
58. Ziegler, M. J., & Vernier, P. T. (2008) Interface water dynamics and porating electric fields for phospholipids bilayers. *Journal of Physical Chemistry B*, 112, 13588–13596. doi:10.1021/jp8027726



Abstract. Electroporation is a universal method of temporarily increasing the permeability of the cell membrane by applying an external pulsed electric field (PEF) of a certain strength.

Problem statement. In the article a mathematical model of animal cell conductivity is presented, based on the probability of electropores formation in the membrane under the action of PEF. The model assumes that electropores of different radii are formed in the membrane, according to the normal Gaussian distribution.

Construction of probability model of electroporation and membrane conductivity. A differential equation for the conductivity of membrane electropore, including the probability function of the electropores formation, is obtained and solved. Based on the solution of this equation, the integral of the conductivity is obtained, which relates it to the electropore radius.

Discussion. To find the characteristic parameters that determine the state of the membrane and its integrity, it is possible to make several theoretical models based on the approximation of the experimental dependences by different functions. However, it should be specially noted that in known models, cell conductivity, as a natural indicator of the membrane electroporation process, is little used as a parameter, and the continuous effect on the membrane and the cell of PEF of increasing strength is hardly considered at all, except of a small number of works. The advantages of using continuous influence on the cell by IEP of increasing intensity become into the open in the context of the above-findings of conductivity modelling based on the electroporation representation of the membrane, as a probabilistic process.

Conclusion. It follows from the constructed model that the cell conductivity is a probability process of membrane electroporation. It is established that the main reason for the process of exponential increase in the conductivity of living cell in PEF of increasing strength in the experiment is the similar process of the increase in conductivity with an increase in the average radius of electropores up to the membrane breakdown.

Key words: membrane, electropore, conductivity, probability, pulsed electric field, strength.

Статья отправлена: 18.06.2021 г.

© Шигимага В.А.



УДК 546.185

ISOMORPHIC SUBSTITUTION OF A CATION IN MANGANESE (II) HYDROGENPHOSPHATE**ІЗОМОРФНЕ ЗАМІЩЕННЯ КАТІОНУ В МАНГАН(ІІ) ГІДРОГЕНФОСФАТІ****Antraptseva N.M. / Антрапцева Н.М.***d.c.s., prof. / д.х.н., проф.***Begal M.N. / Бегаль М.М.***student / студентка**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Geroev Oboroni, 15**Національний університет біоресурсів і природокористування України,**Київ, Героїв Оборони, 15, 03041***Bila G.N. / Біла Г.М.***c.s.s., as.prof. / к.х.н., доц.**National University of Food Technologies, Kyiv, Volodymyrska str., 68, 01601**Національний університет харчових технологій, Київ, вул. Володимирська, 68, 01601*

Анотація. Роботу виконано з метою дослідження можливості одержання гідратованих твердих розчинів на основі структури манган(ІІ) гідрогенфосфату. Визначено умови спільного попарного осадження ізоморфних катіонів Mn^{2+} і Mg^{2+} , Mn^{2+} і Co^{2+} , Mn^{2+} і Zn^{2+} у вигляді гідрогенфосфатів. Синтезовано три тверді розчини із структурою $MnHPO_4 \cdot 3H_2O$ складу: $Mn_{1-x}Mg_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x < 1.00$), $Mn_{1-x}Co_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x \leq 0.2$), $Mn_{1-x}Zn_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x \leq 0.07$). Показано, що вони утворюються внаслідок ізоморфного заміщення катіону мангану(ІІ) у кристалічній решітці гідрогенфосфату-матриці. Області гомогенності твердих розчинів змінюються від неперервних, як у $Mn_{1-x}Mg_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x < 1.00$), до обмежених вузьким інтервалом гомогенності як у $Mn_{1-x}Co_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x \leq 0.2$) і $Mn_{1-x}Zn_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x \leq 0.07$). Факт існування меж гомогенності обґрунтований із застосуванням характеристик катіонів і основних понять ізоморфізму.

Ключові слова: ізоморфне заміщення, твердий розчин, гідрогенфосфати.

Вступ.

Технічно цінні властивості фосфатів двовалентних металів покращують введенням в структуру фосфату-матриці додатково іншого катіону. Цього досягають синтезом сполук, що за хімічною природою можуть бути твердими розчинами або подвійними солями [1,2]. Останнім часом активізувалися роботи з синтезу та вивчення різноманітних характеристик твердих розчинів неорганічних фосфатів. Це пов'язано із можливістю регулювати в заданих межах їх склад і, відповідно, фізико-хімічні та експлуатаційні властивості.

Відомі, зокрема, дослідження ізоморфного заміщення $Cu(II)$ на Co , Ni або Zn в структурі фосфатів $CuHPO_4 \cdot H_2O$, $Cu_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$, $Cu_2(OH)PO_4 \cdot xH_2O$ ($x = 0.1-0.2$) [3]. Розглянуті можливості одержання фосфатів $Co(II)$ і $Ni(II)$ різного ступеня протонізації, твердих розчинів $M_{1-x}Ni_x(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$, $M = Mg, Mn, Co, Zn$ [4]. Даних стосовно твердих розчинів фосфатів Mg , $Co(II)$, Zn на основі структури $MnHPO_4 \cdot 3H_2O$ в літературі вкрай недостатньо. Систематичні дослідження в цьому напрямку не виконувалися.

Мета даної роботи – дослідити можливості одержання гідратованих твердих розчинів фосфатів двовалентних металів (магнію, кобальту(ІІ), цинку) із структурою манган(ІІ) гідрогенфосфату.



Методика експерименту.

Тверді розчини одержували спільним осадженням катіонів Mn^{2+} і Mg^{2+} (Co^{2+} або Zn^{2+}) йоном HPO_4^{2-} при взаємодії суміші відповідних гідроксокарбонатів з фосфатною кислотою при фіксованому значенні концентрації йонів H^+ . В ході експерименту визначали залежність складу твердої фази від таких основних параметрів процесу: рН (з діапазону 2.6–3.3), співвідношення Mn(II) і Mg (Co(II) , Zn) в складі вихідних гідроксокарбонатів ($K = \text{Mn}/\text{M}^{\text{II}}$) змінювали від 0 до 100.0 % мольн., концентрацію H_3PO_4 – в межах 30–87%, температуру – 25–80 °С.

Ідентифікацію та дослідження синтезованих фосфатів виконували з використанням комплексу методів аналізу аналогічно описаному в [2].

Результати та їх обговорення

Спільне осадження мангану(II) і магнію гідрогенфосфатів здійснювали за умов: рН 2.8; температура 45 °С; розчин H_3PO_4 – 55 %. Вміст мангану(II) і магнію в суміші вихідних гідроксокарбонатів змінювали від 0 до 100 % мольн.

Аналіз отриманої твердої фази свідчить про те, що незалежно від вмісту мангану(II) і магнію у вихідних реагентах ($K = \text{Mn}/\text{Mg}$) відбувається утворення єдиної кристалічної фази. У формуванні кристалічної решітки цієї фази беруть участь як йони мангану, так і магнію, вміст яких змінюється залежно від складу суміші гідроксокарбонатів. Залежить від нього і вміст фосфору і води, значення яких відповідає розрахунковим для гідрогенфосфатів (табл. 1).

Рентгенограми всіх отриманих сполук за набором дифракційних відображень аналогічні з рентгенограмами індивідуальних ізоструктурних $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ і $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, відрізняючись лише перерозподілом інтенсивностей окремих рефлексів. Закономірна зміна значень міжплощинних відстаней характеризує гідрогенфосфати як неперервний твердий розчин заміщення загальної формули $\text{Mn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, структурно однотипний з $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Значення x змінюється від 0 для $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ до 1.00 для $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (табл. 1).

Наявність структурного зв'язку гідрогенфосфатів твердого розчину з $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ чітко фіксується і при аналізі ІЧ спектрів. Повна ідентичність конфігурацій ІЧ спектрів $\text{Mn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, записаних при 20 °С і –190 °С, зі спектрами $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ свідчить на користь їх ізоструктурності. Рівномірне зміщення смуг поглинання, зокрема, смуг $\nu(\text{OH})$ і $\delta(\text{H}_2\text{O})$, ОН-груп протонованого аніону характеризує вплив природи катіона.

Параметри елементарної комірки полікристалічних $\text{Mn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($0 < x < 1.00$) на всьому проміжку складів змінюються пропорційно вмісту мангану(II) і магнію та у відповідності до значень їх йонних радіусів. Ця залежність має лінійний характер, що, відповідно до закону Вегарда, є доказом утворення неперервного твердого розчину заміщення внаслідок ізоморфного заміщення мангану(II) на магній в структурі $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (табл. 2).

Ізоморфне заміщення мангану(II) в структурі $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ на кобальт(II) досліджували за умов рН 2.8, температурі 40 °С, водний розчин H_3PO_4 55 %. Вміст мангану(II) і кобальту(II) у складі вихідних гідроксокарбонатів ($K = \text{Mn}/\text{Co}$, мольне) змінювали від 10.0 до 0.10.



Таблиця 1

**Характеристика твердого розчину мангану(II) і магнію гідрогенфосфатів
(рН 2.8; 45 °С; розчин H₃PO₄ – 55%)**

K= Mn/Mg, мольне	Склад твердої фази, % мас.				Хімічний склад	Фазовий склад (за результатами РФА та ІЧ-спектроскопії)
	Mn	Mg	P	H ₂ O		
-	$\frac{26,96}{26,81^*}$	-	$\frac{14,86}{15,12}$	$\frac{30,57}{30,75}$	MnHPO ₄ ·3H ₂ O	MnHPO ₄ ·3H ₂ O Твердий розчин загальної формули Mn _{1-x} Mg _x HPO ₄ ·3H ₂ O, 0 < x < 1.00, (орторомбічна сингонія, пр. гр. Pбса, Z=8) MgHPO ₄ ·3H ₂ O
75.0	26.28	1.04	14.90	30.68	Mn _{0.97} Mg _{0.03} HPO ₄ ·3H ₂ O	
20.0	24.57	1.61	15.06	30.82	Mn _{0.9} Mg _{0.1} HPO ₄ ·3H ₂ O	
1.4	20.94	2.80	15.80	31.75	Mn _{0.75} Mg _{0.25} HPO ₄ ·3H ₂ O	
1.0	19.38	4.02	16.19	32.30	Mn _{0.7} Mg _{0.3} HPO ₄ ·3H ₂ O	
0.33	14.90	6.71	16.61	33.39	Mn _{0.5} Mg _{0.5} HPO ₄ ·3H ₂ O	
0.2	8.30	9.91	17.04	34.09	Mn _{0.25} Mg _{0.75} HPO ₄ ·3H ₂ O	
0.01	2.83	13.00	17.40	35.45	Mn _{0.1} Mg _{0.9} HPO ₄ ·3H ₂ O	
-	-	$\frac{13,76}{13,95^*}$	$\frac{17,79}{17,78}$	$\frac{35,96}{36,15}$	MgHPO ₄ ·3H ₂ O	

* Розрахункові значення. ** Авторська розробка

Таблиця 2

**Параметри елементарної комірки Mn_{1-x}Mg_xHPO₄·3H₂O (0 < x < 1.00), нм
(орторомбічна сингонія, пр. гр. Pбса, Z=8)**

Склад гідрогенфосфату	R катіону, нм	a	b	c	V, нм ³
MnHPO ₄ ·3H ₂ O	0,097	1.0440(3)	1.0872 (3)	1.0223 (2)	1.16035
Mn _{0,9} Mg _{0,1} HPO ₄ ·3H ₂ O	-	1.0422(2)	1.0843 (3)	1.0200 (1)	1.15380
Mn _{0,75} Mg _{0,25} HPO ₄ ·3H ₂ O	-	1.0383 ⁽⁺¹⁻²⁾	1.0822 ⁽⁻¹⁺¹⁾	1.0170 (0)	1.14344
Mn _{0,5} Mg _{0,5} HPO ₄ ·3H ₂ O	-	1.0328 (1)	1.0775 (2)	1.0117 (1)	1.12632
Mn _{0,25} Mg _{0,75} HPO ₄ ·3H ₂ O	-	1.0267 ⁽⁺¹⁻²⁾	1.0733 ⁽⁺¹⁻²⁾	1.0066 (0)	1.10937
Mn _{0,1} Mg _{0,9} HPO ₄ ·3H ₂ O	-	1.0237 (2)	1.0701 (2)	1.0034 (2)	1.09928
MgHPO ₄ ·3H ₂ O	0,086	1.0214 ⁽⁺²⁻³⁾	1.0682 (2)	1.0016 (2)	1.09281

Результати хімічного аналізу твердої фази показали, що значення $P/\sum \text{Mn,Co}$ при всіх значеннях K відповідає розрахунковому для гідрогенфосфатів (1.00). Однак за характером зміни в їх складі вмісту Mn, Co, P, H₂O гідрогенфосфати можна розділити на дві групи. Першу групу становлять гідрогенфосфати отримані при $0.82 \leq K \leq 10.0$. Вміст Mn(II) і Co(II) в них закономірно змінюється залежно від складу суміші гідрокарбонатів (26,17–21,44 % мас. Mn; 0,62–5,35 % мас. Co при $K = 10$ і $K = 0.82$, відповідно).

Склад гідрогенфосфатів, що утворюються за умов $0.10 \leq K \leq 0.80$ (друга група), значно відрізняється: вміст мангану(II) становить 13.91–1.05 % мас., кобальту(II) – 18,27–31,29 % мас. Досить різкі зміни стосуються й вмісту P і



H₂O при переході від $K = 0.82$ до $K = 0.80$.

Гідрофосфати першої групи являють собою кристалічну фазу, рентгенометричні характеристики якої відповідають відомим для $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Це характеризує однотипність їх кристалічних структур і свідчить про утворення обмеженого твердого розчину $\text{Mn}_{1-x}\text{Co}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, значення x в якому змінюються в межах $0 < x \leq 0.2$.

Ідентифікація гідрофосфатів другої групи свідчить про утворення за умов $0.10 \leq K \leq 0.80$ твердого розчину складу $\text{Co}_{1-y}\text{Mn}_y\text{HPO}_4 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$, $0 < y \leq 0.45$, із структурою $\text{CoHPO}_4 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$.

Ізоморфне заміщення мангану(II) цинком в структурі $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ досліджували, використовуючи спільне осадження катіонів Mn^{2+} і Zn^{2+} за умов: pH 1.5, 40 °C, 55%-ний водний розчин H_3PO_4 . Вміст мангану(II) і цинку в складі вихідних гідрокарбонатів ($K = \text{Mn}/\text{Zn}$, мольне) змінювали від 50.0 до 1.0.

Результати хімічного аналізу твердої фази свідчать про те, що за умов $1.5 \leq K \leq 50.0$ вміст цинку в гідрофосфатах закономірно збільшується від 0.48 % мас. при $K = 50.0$ до 2.14 % мас. при $K = 1.5$, мангану(II) – адекватно знижується. Осадження при $K < 1.5$ супроводжується значною зміною вмісту, особливо, цинку, фосфору, води, що вказує на зміни фазового складу осаду.

Інтерпретація результатів рентгенофазового і ІЧ спектроскопічного аналізів свідчить про ізоморфне входження цинку в структуру $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ і характеризує гідрофосфати одержані при $1.5 \leq K \leq 50.0$ як твердий розчин заміщення загальної формули $\text{Mn}_{1-x}\text{Zn}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, області гомогенності якого становлять $0 < x \leq 0.07$.

Висновки.

Досліджено можливість одержання гідратованих твердих розчинів фосфатів двовалентних металів (магнію, кобальту(II), цинку) із структурою манган(II) гідрофосфату.

Внаслідок ізоморфного заміщення катіону мангану(II) у кристалічній решітці гідрофосфату-матриці – $\text{MnHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – синтезовано три тверді розчини складу: $\text{Mn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($0 < x < 1.00$), $\text{Mn}_{1-x}\text{Co}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($0 < x \leq 0.2$), $\text{Mn}_{1-x}\text{Zn}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($0 < x \leq 0.07$). Області їх гомогенності змінюються в широких межах: від неперервних, як у $\text{Mn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($0 < x < 1.00$), до обмежених вузьким інтервалом гомогенності як у $\text{Mn}_{1-x}\text{Co}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($0 < x \leq 0.2$) і $\text{Mn}_{1-x}\text{Zn}_x\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ($0 < x \leq 0.07$).

Факт існування різних меж гомогенності обґрунтований із застосуванням характеристик катіонів і основних понять ізоморфізму.

Література:

1. Acton A.Q. Phosphates – advances in research and application / A. Q. Acton. – Atlanta, Georgia : Scholarly Editions, 2013. – 374 p.
2. Антрапцева Н.М., Солод Н.В. Тверді розчини та подвійні фосфати двовалентних металів. – К : "Центр поліграфії "КОМПРИНТ", 2018. – 443 с.
3. Вітер В.М., Нагорний П.Г. Дослідження ізоморфного заміщення Cu атомами 3d-s-металів у структурі $\text{CuHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ // Доп. НАН України. – 2001. – № 8. – С. 126 – 129.



4. Viter V.N. and Nagorny P.G. Russian Journal of Inorganic Chemistry. – 2007, Vol. 52, No. 1, pp. 19–25.

Abstract. *It is possible to obtain hydrated solid solutions based on the structure of manganese(II) to hydrogen phosphate. Three solid solutions with the structure of $MnHPO_4 \cdot 3H_2O$ of composition were synthesized: $Mn_{1-x}Mg_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x < 1.00$), $Mn_{1-x}Co_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x \leq 0.2$), $Mn_{1-x}Zn_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x \leq 0.07$). It is shown that they are formed due to the isomorphic substitution of the manganese(II) cation in the crystal lattice of the hydrogen phosphate matrix. Areas of homogeneity of solid solutions vary widely: from continuous, as in $Mn_{1-x}Mg_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x < 1.00$), to limited by a narrow range of homogeneity as in $Mn_{1-x}Co_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x \leq 0.2$) and $Mn_{1-x}Zn_xHPO_4 \cdot 3H_2O$ ($0 < x \leq 0.07$). The fact of the existence of different limits of homogeneity is substantiated using the characteristics of cations and the basic concepts of isomorphism.*

Key words: *isomorphic substitution solid solution, hydrogen phosphates.*

Стаття відправлена: 18.06.2021р.

© Антрапцева Н.М., Бегаль М.М., Біла Г.М.



УДК 615.322:582.929.4-119.2:547.979.8

**DETERMINATION OF CAROTINOIDE CONTENT IN PLANT RAW
MATERIALS THYMUS VULGARIS L.
ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ КАРОТИНОЇДІВ У РОСЛИННІЙ СИРОВИНІ THYMUS
VULGARIS L.**

Fukleva L.A. / Фуклева Л.А.

c.pharmacy.s., senior lecturer / к.ф.н, ст. викладач

Department of pharmacy management and economics and pharmaceutical technology

ORCID iD 0000-0002-2930-0619

Zaporizhzhya State Medical University, Zaporizhzhya, Mayakovsky 26

Запорізький державний медичний університет, пр.. Маяковського 26, 69035

Анотація: У представленій роботі розглядається визначення кількісного вмісту каротиноїдів з витягів рослинної сировини чебрецю звичайного у різні фази вегетації, петролейним ефіром. Методом спектрофотометрії на приладі Specord-200 Analytic Jena UV-vis при $\lambda = 450$ нм в кюветі з $l = 10$ мм, встановлено найбільшу концентрацію накопичення каротиноїдів при цвітінні рослинної сировини. Методом ТЛХ на пластинках "Silufol UF-254 у системі петролейний ефір – бензол – абсолютний спирт етиловий (10:10:80) визначили якісний склад.

Ключові слова: каротиноїди, чебрець звичайний, β -каротин, спектрофотометрія, петролейний ефір

Не втрачають своєї актуальності фітопрепарати на рослинній основі, які використовуються в сучасній медицині, незважаючи на велику кількість синтетичних лікарських засобів, лікувальна цінність їх обумовлена вмістом цілого комплексу біологічно активних речовин.

Значне місце посідає представник роду *Thymus* L. (чебрець звичайний) родини *Lamiaceae* L., який містить високі концентрації біологічно активних речовин фенольної та флавоноїдної природи, а також проявляє різноманітну фармакологічну дію і досить низьку токсичність.

Thymus vulgaris L. (ч. звичайний) – це невелика, напівкущова рослина із вираженою стрижневою кореневою системою до 25 см заввишки. Стебло прямостояче, чотиригранне, значно розгалужене, у нижній частині рослини здерев'яніле. Трав'янисті гілки тонкі, з характерним сіруватим опушенням. Листки дрібні, цілокраї, до 10 мм завдовжки, 2 – 3 мм завширшки, супротивні, з коротким черешком, як зазвичай, видовжено-ланцетні, сіруваті. Мають загорнені донизу краї. На обох поверхнях дуже помітні багаточисленні ефіроолійні залозки. Квітки рослини дрібні, двогубі, п'ятичленні. Чашечка зелена, віночок світло-ліловий, лілово-рожевий або білий. Тип суцвіть – колосоподібний. Плід – ценобій.

У народній медицині багатьох країн настій і відвар з трави чебрецю застосовують для лікування бронхіту, довготривалого кашлю, задусі, бронхіальної астми, туберкульозу легенів, емфіземи та актиномікозу легенів, інсульту, ревматизму, радикуліту, невралгії, як діуретичний, антигельмінтний засіб. Зовнішньо призначають в якості ранозагоювальних засобів, для поновлення клітин тканин, лікуванні опіків [2, 3, 6].

При попередніх дослідженнях встановлено компонентний склад ефірної



олії отриманої з трави чебрецю кримського і ідентифіковано 32 основні речовини. Основними компонентами являлись: тимол (39,72%), п-цимол (19,68%), карвакрол (7,57%), γ -терпінен (4,49%) [4].

Метою роботи було визначити якісний склад і кількісний вміст каротиноїдів у рослинній сировині *Thymus vulgaris* L.

Об'єктом дослідження обрана рослинна сировина чебрецю звичайного, яка зібрана у різні фази вегетації та з різних місць зростання згідно до вимог ДФУ. Сушіння заготовленої рослинної сировини проводили у сушільній шафі при температурі 35° протягом 3-4 годин.

До каротиноїдів (провітаміни А) відносять рослинні пігменти, забарвлені в жовто-гарячий, жовтий або червоний колір, які продукують вищі рослини, деякі бактерії, гриби. Ці сполуки життєво необхідні для організму людини, бо не синтезуються у ньому, а поповнюються ліше з їжею.

На наш час каротиноїди ідентифікують, як жиророзчинні вітаміни, які відповідають загальній формулі ($C_{40}H_{64}$) і є похідними тетратерпенів. Ці речовини рослини використовують для запліднення, вони стимулюють ріст пилкових трубок та накопичення пилку, приймають активну участь у диханні, рості й фотосинтезі рослин, утворюють перекисні сполуки [1, 2].

Останнім часом встановлено, що каротиноїди мають виражені ранозагоювальні та протизапальні властивості, виявляють антиоксидантну та фотопротекторну дію, затримують утворення злоякісних новоутворень, видаляють важкі метали та радіонукліди, сприяють заживленню ран при радіаційному ушкодженні, ефективні при ксерофтальмії, для покращення росту й розвитку клітин організму [2, 3, 6].

Для якісного визначення каротиноїдів проводили дослідження хлороформного витягу з трави досліджуваного виду (1:5) методом ТШХ на пластинках "Silufol UF-254", а також на скляних пластинках із незакріпленим шаром силікагелю КСК ($d = 0,25$ мм) у системі петролейний ефір – бензол – абсолютний спирт етиловий (10:10:80). На хроматограмах каротиноїди спостерігали за характерним забарвленням у видимому світлі та за флюоресценцією їх в УФ-світлі. Ідентифіковано речовину з $R_f = 0,70$, яка в УФ-світлі має коричневе забарвлення.

Для визначення кількісного вмісту каротиноїдів застосовували методи УФ-спектроскопічного визначення оптичної густини ефірних витягів з рослинної сировини.

Наважку рослинної сировини, близько 2,0 г (точна наважка), попередньо подрібненої ($d = 1$ мм), вносили до колби ємністю 100 мл, додавали 60 мл петролейного ефіру, нагрівали на водяному огрівнику при $t = 60^\circ\text{C}$ протягом 5 хв. Отриманий розчин фільтрували у мірну колбу ємністю 100 мл. Процес проводили ще двічі, по 30 мл при $t = 60^\circ\text{C}$ протягом 5 хв. Розчини об'єднували, охолоджували, фільтрували, об'єм доводили до позначки. 10 мл отриманого розчину переносили в мірну колбу ємністю 25 мл і доводили до позначки петролейним ефіром.

Визначали оптичну густину на КФК-3 МП та спектрофотометрі Specord-200 Analytic Jena UV-vis при $\lambda = 450$ нм в кюветі з $l = 10$ мм. В якості розчину



порівняння використовували петролейний ефір.

Вміст суми каротиноїдів (мг %), в перерахунку на β -каротин, розраховували за формулою 1:

$$X = \frac{D_1 \cdot 0,00208 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 100}{D_0 \cdot m \cdot 100 \cdot (100 - W)}, \quad (1)$$

D_1 – оптична густина розчину;

0,00208 – маса β – каротину (мг), рівноцінне забарвленню 1 мл розчину калію дихромату (станд.);

D_0 – оптична густина розчину біхромату калію (станд.);

m – наважка сировини, г;

W – втрата сировини в масі при висушуванні, %.

Для виготовлення стандартного розчину калію дихромату: 0,0900 г речовини (точна наважка) вносили в мірну колбу ємністю 250 мл, розчиняли в воді дистильованій очищеній та доводили об'єм до позначки. За інтенсивністю забарвлення розчин відповідає зразку, якій містить наважку β – каротину 0,00208 мг в 1 мл.

Отримані результати представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Вміст суми каротиноїдів у траві *Thymus vulgaris* L. з різних місць зростання (травень – серпень)

Місце збору	Вміст суми каротиноїдів, ($\bar{x} \pm \Delta \bar{x}$), мг %, $\mu = 6$		
	Бутонізація	Цвітіння	Плодоношення
м. Токмак, Запорізька обл.	$10,12 \pm 0,51$	$37,22 \pm 1,86$	$20,24 \pm 1,02$
м. Пологи, Запорізька обл.	$15,22 \pm 0,76$	$38,21 \pm 1,91$	$19,26 \pm 0,96$
м. Підстепне, Херсонська обл.	$15,10 \pm 0,73$	$38,20 \pm 1,88$	$18,20 \pm 1,02$
м. Павлоград, Дніпропетровська обл.,	$14,25 \pm 0,77$	$36,19 \pm 1,89$	$21,76 \pm 1,12$

Одержані дані свідчили про те, що каротиноїди накопичуються в траві *Thymus vulgaris* L. під час масового цвітіння (травень – серпень). Аналіз зразків рослинної сировини з різних місць зростання не виявив суттєвих відмінностей у накопиченні речовин.

Найбільші накопичення концентрації каротиноїдів встановлено під час цвітіння сировини, від $38,21 \pm 1,88$ мг % до $36,19 \pm 1,89$ мг %.

Під час плодоношення вміст каротиноїдів суттєво зменшувався та складав відповідно для трави *Thymus vulgaris* L. від $21,76 \pm 1,12$ мг % до $18,20 \pm 1,02$ мг %.

Деяко менші концентрації цих речовин були відзначені сировини *Thymus vulgaris* L. при бутонізації від $15,25 \pm 0,76$ мг % до $10,12 \pm 0,51$ мг %.

Досліджено, що найбільші накопичення концентрації каротиноїдів спостерігаються під час цвітіння сировини *Thymus vulgaris* L., і складає від $38,21 \pm 1,88$ мг % до $36,19 \pm 1,89$ мг % та не залежить від місця зростання.

**Література:**

1. Пігменти. Хімічна природа [Електронний ресурс] Короткий довідник біологічно активних речовин: Пігменти. Режим доступу інформ: http://beclan.org/practical/rechovin_pgmenti.htm
2. Сімонова М. Каротиноїди: будова, властивості та біологічна дія. Біологічні Студії / Studia Biologica. 2010. Т. 4. №2. С. 159–170.
3. Солодовніченко Н.М. Лікарська рослинна сировина та фітопрепарати. Посібник з фармакогнозії з основами біохімії рослин / Н.М. Солодовніченко, М.С. Журавльов, В.М. Ковальов. – Х.: Вид-во НФАУ: Золоті сторінки, 2001. – 408 с.
4. Фуклева Л. А. Фітохімічне вивчення ефірної олії тим'яну кримського (*Thymus tauricus* Klok et D. Sch.) флори України / Л. А. Фуклева, О. В. Мазулін // Запорізький мед. журнал. – 2009. – Т. 11, № 4. – С. 124 – 125.
5. Курегян А.Г. Спектрофотометрия в анализе каротиноидов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-23. – С. 5166-5172; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38175>
6. Т. П. Гарник, С. В. Анохіна / Роль каротиноїдів у забезпеченні здоров'я органа зору (Огляд літератури) // Фітотерапія. - 2016. - № 2. - С. 39-42.

Abstract. Recently, plant-based herbal medicines have not lost their relevance, treating the value of their enlightened content with a whole complex of biologically active substances. Information that carotenoids have pronounced wound-healing and anti-inflammatory properties, have antioxidant and photoprotective effects. The aim of the study was to investigate the qualitative composition and quantitative content of carotene substances in plant raw materials of *Thymus vulgaris* L. The object of study is the plant of raw materials of thyme, which corresponds to varying degrees of increase in accordance with the requirements of HFCs.

Qualitative chromatography was used to qualitatively determine the carotenoids of chloroform extract from thyme grass (1: 5) on "Silufol UF-254" plates in the system petroleum ether - benzene - absolute ethyl alcohol (10:10:80). A substance with $R_f = 0.70$ was identified, which has a brown color in UV light. Quantitative determination of the amount of carotenoids was performed by spectrophotometry. The largest accumulations of carotenoid concentration were found during the flowering of raw materials, ranging from 38.21 ± 1.88 mg% to 36.19 ± 1.89 mg%. The results indicate the prospects for the use of vegetable raw materials of thyme in pharmacy to obtain carotenoids and create herbal remedies with antioxidant action.

Key words: carotenoids, thyme, β -carotene, spectrophotometry, petroleum ether.

Научный руководитель: д.фарм.н., проф. Мазулін О.В.

Статья отправлена: 18.06.2021 г.

© Фуклева Л.А.



УДК 615.322:582.929.4-119.2:547.979.8

**INVESTIGATION OF ASCORBIC ACID ACCUMULATION IN PLANT
RAW MATERIALS THYMUS TAURICUS KLOK. ET SHOST
ДОСЛІДЖЕННЯ НАКОПИЧЕННЯ АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ У РОСЛИННИЙ
СИРОВИНІ THYMUS TAURICUS KLOK. ET SHOST.****Fukleva L.A. / Фуклева Л.А.***c.pharmacy.s., senior lecturer / к.ф.н, ст. викладач**Department of pharmacy management and economics and pharmaceutical technology**ORCID iD 0000-0002-2930-0619**Zaporizhzhya State Medical University, Zaporizhzhya, Mayakovsky 26**Запорізький державний медичний університет, пр. Маяковського 26, 69035*

Анотація: У роботі представлені дослідження якісного та кількісного вмісту аскорбінової кислоти у траві *Th. tauricus Klok. et Shost.*, методом тонкошарової хроматографії та об'ємним титруванням. Що необхідно враховувати при стандартизації рослинної сировини та розробці фітопрепаратів, як джерело природних антиоксидантів. Накопичення вітаміну С спостерігалось у вегетаційний період при масовій вегетації рослинної сировини чебрецю кримського, складало до $0,55 \pm 0,03$ %.

Ключові слова: аскорбінова кислота, чебрець кримський, тонкошарова хроматографія, ефіроолійна рослинна сировина

Дослідження перспективних ефіроолійних видів рослин з вираженою антиоксидантною, протимікробною, протизапальною дією є актуальним завданням сучасної фармації для розробки фітопрепаратів і впровадження їх в медичну практику.

Родина *Lamiaceae* L. налічує близько 3500 видів, які об'єднані в 200 родів, що широко розповсюджені по всій земній кулі. Більшість рослин зустрічається в країнах Середземномор'я [1]. В Україні та країнах СНД різноманіття рослин родини *Lamiaceae* L. сягає близько 1000 видів, які відносять до 69 основних родів [1].

Представники родини ясноткових характеризуються вмістом різних класів біологічно активних речовин (ефірні олії, вітаміни, флавоноїди, гідроксикоричні та амінокислоти, полісахариди) [2].

Ефірні олії і екстракти з трави видів роду *Thymus* L. входять до складу багатьох комплексних фітопрепаратів антисептичної та протизапальної дії: "Ментоклар", "Алталекс", "Антисептин", "Бронхікум", "Бронхіпрет", "Віталп", "Гербіон", "Мелрозум", "Пекторал", "Пертусин", "Анітос", "Піносол", "Ефкамон".

Дослідження перспективних видів роду *Thymus* L. розширить рослинну сировинну базу для отримання субстанцій з антиоксидантною дією.

Об'єктом для нашого дослідження обрана трава *Thymus tauricus Klok. et Shost.*, яку заготовлено з різних місць зростання у вегетаційний період (травень-серпень) флори України, згідно до вимог до ДФУ.

Сушіння трави проводили в сушильній шафі при $t = 35^{\circ}\text{C}$, розташовували тонким шаром до 3 см.

Метою нашого дослідження - визначити накопичення аскорбінової кислоти у різні фази вегетації, рослинною сировиною чебрецю кримського.



Рослинна сировина *Thymus tauricus* Klok. et Shost. (ч. кримський) – досить великий напівкущ з довгоповзучими товстими, міцно здерев'янілими горизонтальними стеблами та вертикальними квітконосними пагонами, до 15 – 35 см заввишки. Листя щільне, товсте, лінійно-лопате, неопушене, часто з міцними жилками. На обох поверхнях дуже помітні багаточисленні ефіроолійні залозки. Стеблові листя продовгувато-лопате. Для всієї рослини характерний дуже міцний ароматичний запах.

Літературні джерела вказують на присутність кислоти аскорбінової у траві видів роду *Thymus* L. Але слід зазначити, що практично відсутні відомості щодо накопичення речовини в рослинній сировині під час вегетації.

Кислота аскорбінова (вітамін С) – це органічна, життєво важлива речовина, яка належить до класу похідних ненасичених α -гулових карбонових кислот. Відомо, що організм людини не має можливості накопичувати або синтезувати цю речовину, яка переважно надходить до нього з харчовими продуктами або препаратами з рослинної сировини.

Аскорбінова кислота приймає безпосередню участь в процесі регулювання окислювально-відновних реакцій, які протікають в організмі: регенерації тканин, обміні вуглеводів, згортанні крові, позитивно впливає на підвищення життєвих сил та підвищення апетиту, антиоксидантний захист організму.

Важливою фізіологічною особливістю речовини є здатність до регенерації тканин і нормалізації процесу проникності капілярів пов'язаних з синтезом проколагену та колагену. Речовина приймає активну участь у активуванні тромбоцитів, комплексу протромбіну та тромбопластину.

Для ідентифікації кислоти аскорбінової в траві досліджуваного виду чебрецю кримського використовували методи ПХ та ТШХ на пластинках "Silufol UF-254" в системі кислота оцтова 15 %. Хроматограми висушували та обробляли 0,04 % водним розчином 2,6-дихлорфеноліндофеноляту натрію до слабкого рожевого забарвлення. Спостерігали білі плями на помаранчевому полі ($R_f = 0,78$).

В якості РСЗ паралельно для хроматографування використовували 1 % водний розчин порошку аскорбінової кислоти кваліфікації ч. д. а.

Для дослідження вмісту аскорбінової кислоти у чебреці кримського використовували метод об'ємного титрування в різні фази вегетації рослин: на початку, під час масової вегетації, бутонізації, початку масового цвітіння, масового цвітіння та плодоношення.

Для цього повітряно-суху рослинну сировину чебрецю кримського подрібнювали до $d = 2,0 - 2,5$ мм, поміщали у фарфорову ступку, додавали 300 мл очищеної води, настоювали протягом 10 хв.

Потім 1 мл отриманого витягу переносили в колбу для титрування ємністю 100 мл, додавали 2% розчин кислоти хлоридної 1 мл і очищеної води 13 мм. Титрування витягу проводили 0,04 % розчином 2,6-дихлорфеноліндофеноляту натрію до слабкого рожевого забарвлення [3, 4, 5].

Вміст аскорбінової кислоти у досліджуваній траві розраховували за формулою [6].

Отримані результати кількісного вмісту вітаміну С наведено в табл. 1.



Таблиця 1

Кількісний вміст кислоти аскорбінової в траві *Thymus tauricus* Klok. et Shost, (травень – серпень) ($\bar{x} \pm \Delta \bar{x}$), %, $\mu = 6$

Фаза вегетації рослин	Кількісний вміст, %
	<i>Thymus tauricus</i> Klok. et Shost.
Початок вегетації	0,06 $\pm$ 0,01
Масова вегетація	0,55 $\pm$ 0,03
Бутонізація	0,41 $\pm$ 0,03
Початок масового цвітіння	0,39 $\pm$ 0,02
Масове цвітіння	0,36 $\pm$ 0,02
Плодоношення	0,09 $\pm$ 0,01

Одержані дані свідчили про те, що вміст вітаміну С у *Th. tauricus* Klok. et Shost. протягом вегетації був досить близьким та відрізнявся дуже незначно. Накопичення аскорбінової кислоти у вегетаційний період спостерігалось при масовій вегетації рослини, складало до 0,55 $\pm$ 0,03 %. Поступово зниження вмісту вітаміну С спостерігали у період бутонізації, початку цвітіння та масового цвітіння.

Досить значний вміст кислоти аскорбінової у рослинній сировині чебрецю кримського зберігався до кінця цвітіння, складав до 0,36 $\pm$ 0,02 %.

Одержані результати свідчили про те, що трава досліджуваного виду чебрецю кримського містить суттєві концентрації вітаміну С, що необхідно враховувати при стандартизації рослинної сировини.

Литература

1. Stahl – Biskup E., Saez F. Thyme: The genus *Thymus* / E. Stahl – Biskup, F. Saez // London, New York. – 2002. – 346 s.
2. Radušienė J. Improvement of diversity, trade and conservation of medicinal and aromatic plants / J. Radušienė, V. Janulis // *Medicina* (Kaunas). – 2004. – Vol. 40, N. 8. – P. 705 – 709.
3. Методика количественного определения суммарного содержания органических кислот в растительном сырье / Д. Н. Оленников, Л. М. Танхаева, Г. Г. Николаева и др. // *Раст. ресурсы*. – 2004. – № 3. – С. 112 – 117.
4. Фітохімічне вивчення кислоти аскорбінової у рослинній сировині / Г. П. Смойловська, О. В. Гречана, Л. А. Фуклева // *Актуальні питання фар мац. і мед. науки та практики*. – 2010. - №. 4, вип. XXIII. – С. 58 – 59
5. Котюк Л. А. Вміст аскорбінової кислоти і каротину у сировині пряно-ароматичних рослин родини *Lamiaceae* Lindl. / Л. А. Котюк // *Біологічні студії*. - 2013. - т. 7, № 2. - С. 83-90. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bist_2013_7_2_10.
6. Державна Фармакопея України: у 3 т. / ДП «Укр. наук. фармакоп. центр якості лік. засобів», 2 - ге вид Х.: Укр. наук фармакоп. центр якості лік. засобів, 2014. Т.3. 732 с.



Abstract. The study of promising essential oil species of plants with pronounced antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory action is an urgent task of modern pharmacy for the expansion of phytopreparations and their introduction into medical practice. The study of the accumulation of ascorbic acid in the plant material of *Th. tauricus* Klok. et Shost. in different phases of the growing season is considered in order to expand the range of phytopreparations with antioxidant action. It is known that ascorbic acid is not synthesized in the human body, but gets together with food, beverages of plant origin.

The object for our study was selected grass *Thymus tauricus* Klok. et Shost., harvested according to generally accepted methods, from different places of growth during the growing season (May-August). Drying of the grass was carried out in an oven at $t = 35^{\circ} \text{C}$, located in a thin layer up to 3 cm. The presence of ascorbic acid was confirmed by thin layer chromatography, where white spots were observed on the orange field ($R_f = 0.78$). The titration method was used to quantify vitamin C in Crimean thyme herb.

The obtained results indicated that the studied plant material *Th. tauricus* Klok. and Shost. contains significant concentrations of vitamin C, respectively, was up to $0.55 \pm 0.03\%$, which must be taken into account when standardizing plant materials.

Key words: ascorbic acid, *Th. tauricus* Klok. and Shost., chromatography, essential oil vegetable raw materials.

Научный руководитель: д.фарм.н., проф. Мазулін О.В.

Статья отправлена: 18.06.2021 г.

© Фуклева Л.А.



MOLECULAR ASPECTS OF BACTERIAL RESISTANCE TO ANTIBIOTICS МОЛЕКУЛЯРНІ АСПЕКТИ ВИНИКНЕННЯ РЕЗИСТЕНТНОСТІ БАКТЕРІЙ ДО АНТИБІОТИКІВ

Polishchuk N.M. / Поліщук Н.М.

ORCID: 0000-0002-9791-5818

s.m.s., as. prof. / к.мед.н., доцент

Zaporizhzhia State Medical University, Zaporizhzhia, Maiakovskiy avenue 26, 69035

Запорізький державний медичний університет,

Запоріжжя, проспект Маяковського, 26, 69035

Matylonok T.Yu. / Матильонок Т. Ю.

ORCID: 0000-0002-5551-1954

assistant / асистент

Zaporizhzhia State Medical University, Zaporizhzhia, Maiakovskiy avenue 26, 69035

Запорізький державний медичний університет,

Запоріжжя, проспект Маяковського, 26, 69035

Kyryk D.L. / Кирик Д.Л.

d.m.s., prof. / д.мед.н., професор

ORCID: 0000-0001-8521-3782

Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Dorohozhytska 9, 04112

Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика,

Київ, Дорогожичська, 9, 04112

Alimenko Yu.L. / Аліменко Ю.Л.

Bacteriologist of the highest category / лікар-бактеріолог вищої категорії

Subdivision "Zaporizhzhia city department State Institution" Zaporizhzhia regional laboratory

center of the Ministry of Health of Ukraine", Zaporizhzhia, Recordna str., 25, 6900.

Відокремлений підрозділ "Запорізький міський відділ ДУ "Запорізький обласний

лабораторний центр МОЗ України", Запоріжжя, вул. Рекордна, 25, 69000.

Анотація. Антибіотикорезистентність є однією з найважливіших медичних проблем сьогодення, яку Всесвітня організація охорони здоров'я вважає глобальною загрозою здоров'ю населення. Згідно літературних даних, серйозну проблему для медичних закладів складають бактерії групи ESKAPE: *Enterococcus faecium et faecium* (резистентні до ванкоміцину), *Staphylococcus aureus* (резистентні до метициліну), *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter spp.*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, яким властиве формування багатоповіркових біоплівків з низькою проникністю матриксу. Процес формування біоплівків контролює сигнальна система Quorum sensing, яка, в свою чергу, контролює синтез токсинів і ферментів. Фенотипи ванкоміцинрезистентних ентерококів (VanA, VanB) володіють генами, що входять до складу транспозону Tn 1546, який може переміщуватись з хромосомної ДНК у плазмиди і передаватись метицилінрезистентним *S.aureus*, що призводить до утворення більш агресивних штамінів MRSA. Резистентність до β -лактамних антибіотиків представників родини Enterobacterales пов'язана із здатністю цих мікроорганізмів продукувати β -лактамази та карбапенемази. Не менш важливою проблемою стає формування стійкості бактерій до аміноглікозидів через наявність аміноглікозидомодифікуючих ферментів, та до макролідів, резистентність до яких обумовлена набуттям бактеріями модифікацій мішені. Для ефективної боротьби з антибіотикорезистентністю необхідно створити умови для вивчення і отримання нових фактичних даних про механізми формування стійкості до АБ.

Ключові слова: антибіотикорезистентність, біоплівка, система Quorum sensing, β -лактамази, карбапенемази, ПЛР-РЧ.



Вступ.

Протягом останніх десятиліть проблема резистентності мікроорганізмів до антибіотиків (АБ) знаходиться у центрі уваги всієї медичної спільноти через розвиток багаточисленних ускладнень при лікуванні хворих, що призводять до збільшення курсу антибіотикотерапії, витрат на лікування та високим показникам смертності. Однією з причин розвитку антибіотикорезистентності являється безконтрольне та надмірне використання антибіотиків в медицині, ветеринарії, сільському господарстві і тваринництві. Згідно звіту Експертної комісії по боротьбі з антибіотикорезистентністю (США) в світі щорічно використовується 73 млрд. разових доз що дорівнює 300 тис. тон АБ [1]. Доведено, що виникнення антибіотикостійкості є формою еволюції бактерій в умовах постійного інтенсивного пресингу АБ, який призводить до появи нових «агресивних» форм і розповсюдженню резистентності серед мікроорганізмів. За даними 2019 р. в країнах Європейського Союзу та в Європейській економічній зоні щорічно фіксують близька 2,5 млн. нових випадків інфекцій, пов'язаних з наданням медичної допомоги, з яких 17% викликані резистентними до АБ бактеріями, що у 8% випадків призводять до смерті хворого [2]. Стійкість бактерій до антибіотиків призводить до багаточисленних соціально-економічних наслідків для всього світу, тому сьогоденним завданням є розроблення ефективних стратегій стримування резистентності. Так, Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) у 2015 р. затвердила «Глобальний план дій щодо стримування розповсюдження стійкості до антимікробних препаратів». В 2019 р. Кабінет Міністрів України затвердив «Національний План дій боротьби зі стійкістю до протимікробних препаратів» [3]. ВООЗ у 2020 р. назвала проблему антибіотикорезистентності однією з десяти глобальних загроз здоров'ю населення, що стоять перед людством [4]. У зв'язку з вище означеним, вважаємо, що аналіз механізмів резистентності бактерій до АБ має край важливе значення і дозволяє більш роздумливо підходити до проведення етіотропної терапії бактеріальних інфекцій та епідеміологічного моніторингу.

Мета дослідження.

Пошук та узагальнення наукових даних щодо проблеми виникнення механізмів резистентності мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів. Для реалізації мети використовували систематичні огляди за допомогою електронно-пошукової системи PubMed, Clinical Trials.

Результати.

Впровадження в клінічну практику антибіотиків розпочалось з 1928 р., з відкриття пеніциліну Олександром Флемінгом. Вже у 1940 р., ще до широкого використання пеніциліну в клінічній практиці, світ зіткнувся з першими випадками резистентності у штамів *Staphylococcus* spp. [5, 6]. У 1945 р. на врученні Нобелівської премії Олександр Флемінг сказав: «...В лабораторних умовах можна легко зробити мікроби стійкими до пеніциліну, використовуючи концентрації, які не здатні убити їх ... цього варто остерігатися в тілі людини...» [5]. Виникнення стійкості мікроорганізмів до АБ невпинно поширюється, особливо серед умовно-патогенних бактерій, які здатні



формувати багаточарові біоплівки з низькою проникністю матриксу завдяки чому терапевтичні концентрації АБ не досягають середини біоплівки, а бактерії витримують дію антибактеріального препарату у дозах, що перевищують мінімальну подавляючу концентрацію у 500-1000 разів [7,8]. Компоненти матриксу (полісахариди, білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти) не тільки надають стабільність об'ємній структурі біоплівки, а й беруть участь у процесах адгезії та обміну поживних речовин. Відомо, що вірулентність бактерій в цих структурах регулюється системою Quorum sensing (QS), яка контролює процес формування біоплівки, синтез токсинів і ферментів. Доведено, що сигнальна система QS складається з автоіндуктору (низькомолекулярний регулятор) та рецепторного регуляторного білку, комплексна дія яких забезпечує внутрішньовидову, міжвидову комунікацію, а також, взаємодію з клітинами організму людини, що в свою чергу забезпечує виживання бактерій в умовах дії АБ. В свою чергу, низький рівень O_2 , низька рН та високий рівень CO_2 в біоплівці обумовлюють стимулюючий вплив сигнальної системи загальної стресової відповіді QS (SOS-відповідь), що призводить до утворення клітин зі сповільненим метаболізмом, так званих, персистерів з генотипом, який відповідає батьківському. Постійна присутність персистерів у біоплівках забезпечує довготривале збереження клітинної популяції в біоплівці в умовах антибіотикотерапії [8]. Найрозповсюдженішими мікроорганізмами, здатними утворювати багатоповітряні біоплівки, є бактерії, що приналежать до групи ESKPE, а саме, ванкоміцинрезистентні *Enterococcus faecalis et faecium* (VRE), метицилінрезистентний *Staphylococcus aureus* (MRSA), ентеробактерії, що продукують β -лактамази розширеного спектру (ESBL), а також, грамнегативні мікроорганізми, що не ферментують глюкозу – *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*. Саме вони, згідно даних ВООЗ, внесені до списку пріоритетних збудників захворювань для наукових досліджень і розробок в області створення нових антибіотиків через їх здатність швидкого формування антибіотикостійкості, здатності швидко розповсюджувати гени резистентності та можливості викликати спалахи інфекції, обумовленої медичним втручанням [9].

Останніми роками розповсюдженість штамів ентерококів, стійких до ванкоміцину, набуває розмах епідемії. Описано шість фенотипів стійкості до ванкоміцину (VanA, VanB, VanC, VanD, VanE и VanG), з яких найбільше клінічне значення має VanA і VanB, що входять до складу транспозону Tn 1546 і характеризують високий рівень резистентності до ванкоміцину [10, 11].

Штами ентерококів, що демонструють фенотип А або В замість дипептиду D-Ala–D-Ala, що входить до складу дисахарид-пентапептиду – попередника пептидоклікану, виявляють дипептид D-Ala–D-Lac, афінність якого до глікопептидів різко знижена. В свою чергу, транспозон Tn 1546 може переміщуватись з хромосомної ДНК у плазмиди та передаватись чутливим мікроорганізмам, наприклад, метицилінрезистентним штамам *S. aureus* (MRSA), що мають у своєму геномі хромосомний ген *tesA*, кодуєчий синтез пеніцилін зв'язуючого протеїну (ПЗБ-2') із зниженою спорідненістю до β -лактамних антибіотиків (пеніцилінів, цефалоспоринів, карбапенемів) [12, 13,



14, 15]. Наявність такої комбінованої резистентності робить стафілококів більш агресивними, які являють собою епідеміологічну небезпеку для лікувальних закладів охорони здоров'я.

Поряд із резистентними стафілококами та ентерококами, вкрай негативний вплив на здоров'я людства мають ентеробактерії, які проявляють стійкість до β -лактамних антибактеріальних препаратів. На сьогодні, особлива увага акцентована на таких збудниках, як *Enterobacter* spp., *Citrobacter* spp., *Proteus* spp., *K. pneumoniae*, *E. coli*, які здатні до продукування β -лактамаз і руйнування β -лактамного кільця антибіотика. Описано 4 класи β -лактамаз (А, В, С, D), які включають більш ніж 2000 видів ферментів, що відрізняються між собою за будовою свого активного центру, гомологією амінокислотної послідовності, генетичною локалізацією (хромосомна або/та плазмідна), чутливістю до дії інгібіторів, ферментативною стабільністю, а також, за субстратною специфічністю [16].

Класи β -лактамаз А, С та D поєднують ферменти з залишком серину в активному центрі і припускається, що вони еволюціонували в результаті селективного пресингу продукуючих деякими бактеріями β -лактамних АБ в ґрунтових екосистемах із бактеріальних пеніцилінзв'язуючих білків [17].

Гени бактерій, які кодують найрозповсюдженіші ферменти молекулярного класу А – TEM, SHV, CTX-M що відносяться до β -лактамаз розширеного спектру дії (БЛРС, ESBL), відзначаються високою частотою мутацій, які значно розширюють спектр резистентності до цефалоспоринові I–IV поколінь та обумовлюють стійкість до інгібіторів серинових β -лактамаз [18]. За даними авторів, після першого виявлення плазмідної лактамази TEM-1 в клітинах *E. coli* (1965р.), буквально впродовж декількох років був виявлений фермент TEM-2, який відрізнявся від попередника однією амінокислотою мутацією Gln39Lys, та TEM-3 з поєднаними мутаціями Gln39Lys і новою заміною Glu104Lys, що призвело до здатності гідролізувати грамнегативними бактеріями пеніциліни і цефалоспорини. На сьогодні описано 200 β -лактамаз TEM-типу, які широко розповсюджені серед грамнегативних мікроорганізмів [16]. Кількість похідних ферменту SHV-1, який поділяє 68 амінокислот з TEM-1 і має з ним аналогічну загальну структуру, за даними 2016 року, складає 189 алельних варіантів, які обумовлюють резистентність до карбапенемів та цефалоспоринові [19]. CTX-M тип, що включає 170 β -лактамаз, ідентифіковано у бактерій групи ESKAPE, включаючи *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa* та *Enterobacter*. Всі β -лактамази CTX-M проявляють високу активність до цефотаксиму, цефтріаксону та, в наслідок амінокислотних мутацій P167T/S і D240G, можуть проявляти високу активність до цефтазидиму [18, 17].

Також, відомими сериновими ферментами класу А є β -лактамази GES, SME, KPC, IMI / NMC-A, SFC, які демонструють карбапенемазну активність. При цьому, відомо більше 30 варіантів ферменту GES, які відрізняються між собою однією-трьома амінокислотними замінами і виявляються у *P. aeruginosa*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae*, *S. marcescens*, *Enterobacter* spp; п'ять варіантів SME, що ідентифікуються у *S. marcescens*; більше 40 різних варіантів KPC, які



дуже часто виявляються в поєднанні з лактамазами В і D класів і визначаються у представників родини *Enterobacteriaceae*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii* [20, 21, 22, 23, 24]. Група ферментів ІМІ / NMC-A (іміпенемаза / неметалокарбапенемаза-A) утворюють дві підгрупи – ІМІ та NMC-A відповідно. NMC-A є сериною карбапенемазою здатною гідролізувати пеніциліни, цефалоспори́ни вузького спектру і карбапенеми [25]. 17 варіантів ферментів ІМІ відповідають за стійкість до іміпенему та ертапенему [26]. Найменш поширена лактамаза SFC (*Serratia fonticola* carbapenemase) міститься в хромосомі лише *S. fonticola* UTAD54 і здатна гідролізувати пеніциліни, цефалоспори́ни, азтреонам і карбапенеми [27].

За даними літератури, однією з причин появи антибіотикорезистентності широкого спектру являється поєднання генів β -лактамаз на мультикопійних плазмідах та мутацій в промоторних і атенуаторних ділянках генів, що призводить до збільшення продукції β -лактамаз. За допомогою плазмід гени β -лактамаз передаються між бактеріальними клітинами при внутрішньовидовій, міжвидовій та міжродовій передачі. Бактерії також поєднують механізм гідролітичної інактивації з активним виведенням β -лактамних АБ із клітини [28, 29].

Також, необхідно зазначити, що такі функціональні групи серинових лактамаз А, як 2br (β -лактамази TEM-30, SHV-10) та 2ber (TEM-50) не інгібуються клавулановою кислотою або тазобактамом, на відміну від груп 2a (PC1), 2b (TEM-1, TEM-2, SHV-1), 2be (TEM-3, SHV-2, CTX-M-15, PER-1, VEB-1); 2c (PSE-1, CARB-3); 2ce (RTG-4); 2e (CepA) [30].

До класу С відносяться хромосомні, не чутливі до традиційних інгібіторів, β -лактамази, які включають декілька важливих ферментів, таких як пеніциліназа та цефалоспори́наза. Хромосомнокодуєчий AmpC зазвичай виділяється серед бактерій родини *Enterobacteriaceae* та у *P. aeruginosa* та гідролізує у більшій мірі цефалоспори́ни, а ніж пеніциліни. Також, в літературі описано п'ять карбапенемаз, приналежних до даного класу (ACT-1, DHA-1, CMY-2, CMY-10, ADC68), що володіють каталітичною активністю по відношенню до іміпенему [31]. Функціональні групи класу С, а саме, 1 (AmpC, P99, ACT-1, CMY-2, FOX-1, MIR-1) та 1e (GC1, CMY-37) не інгібуються клавулановою кислотою або тазобактамом [30].

Плазмідні β -лактамази класу D являються самими структурно різноманітними серед серинових β -лактамаз і представлені гідролізуючими оксацилін ферментами (OXA). Відомо понад 88 варіантів даного типу лактамаз, 60 % яких складають ферменти, що гідролізують карбапенеми [32]. Три функціональні групи цього класу мають варіабельне відношення до інгібування клавулановою кислотою або тазобактамом (2d –OXA-1, OXA-10, 2de –OXA-11, OXA-15, 2df – OXA-23, OXA-48) [30]. Даний клас ферментів характерний у більшості для грамнегативних бактерій, особливо для псевдомонад, ентеробактерій та аценетобактерів [33, 34].

Бактерії, які продукують ферменти класу В (метало- β -лактамази, MBL) проявляють резистентність до усіх β -лактамів, за винятком азтреонаму. Серед найбільш поширених MBL виділяють 80 різних варіантів іміпенемазних



метало- β -лактамаз (IMP), виявлених у *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *A. baumannii*, *E. cloacae*, 60 варіантів веронської інтегрон-кодуємої метало- β -лактамаз (VIM) штамів *P. aeruginosa*, *P. putida*, *A. baumannii*, *K. pneumoniae*, *E. coli*, та 20 варіантів метало- β -лактамаз NDM (метало- β -лактамаза Нью-Делі) ізолятів *K. pneumoniae* і *E. cloacae* [35, 26, 36]. Представники двох функціональних груп даного молекулярного класу β -лактамаз не чутливі до інгібування клавулановою кислотою або тазобактамом (3a – IMP-1, VIM-1, CcrA, IND-1, 3b – CphA, Sfh-1). [30].

Стійкість до карбапенемів обумовлена декількома механізмами, а саме: розщеплення антибіотика β -лактамазами; генетична модифікація мішені, обумовлена видозміненням мембранних протеїнів, з якими могли б взаємодіяти карбапенеми; модифікація поринів D, через які зазвичай карбапенеми потрапляють в цитоплазму бактерії (характерно у більшості випадків для іміпенему і в меншому ступені для меропенему); активація ефлюксних систем, які можуть виводити антибіотики (передусім ертапенем, але й нерідко меропенем та іміпенем), а також, формування біоплівки [37].

Наразі, особлива увага медичної спільноти зосереджена на розвитку антибіотикорезистентності, пов'язаної з БЛРС, які є мутантними формами β -лактамаз. Складність рутинного виявлення резистентності, пов'язаної із продукцією БЛРС, напружена епідеміологічна ситуація через можливість обміну плазмідами резистентності між штамми, а також множинна лікарська стійкість БЛРС-позитивних ізолятів, вимагають впровадження в практичну мікробіологічну діяльність додаткових методик та сучасних методів досліджень. Найбільш доступними дослідженнями для виявлення продукції БЛРС є фенотипові методи, які засновані на ефекті пригнічення їх активності по відношенню до оксіміно- β -лактамів у присутності клавуланової кислоти [38]. Проте, нажаль, такі фенотипові методи не забезпечують детекції БЛРС у 100% штамів. На сьогодні, єдиним шляхом, який можна обрати для вирішення цієї проблеми, є використання молекулярно-генетичних методів, а саме: полімеразної ланцюгової реакції в реальному часі (ПЛР-РЧ), яка дозволяє визначити не тільки наявність генів β -лактамаз, а й виявити в генах мутації, що пов'язані із формуванням антибіотикорезистентності [39].

Вагому небезпеку для пацієнтів складає проблема, пов'язана із формуванням резистентності мікроорганізмів до аміноглікозидів, чи ацетилтрансферази хлорамфеніколу. На сьогодні відомо понад 50 ферментів, здатних до N-ацетилювання, O-фосфолування чи O-нуклеотидилування різних аміноглікозидних антибіотиків [40]. Серед грампозитивних бактерій важливе клінічне значення належить біфункціональному ферменту AAC(6')-APH(2'') що руйнує більшість аміноглікозидів (крім стрептоміцину та спектіноміцину) [41]. Інший механізм резистентності обумовлений появою мутацій в бактеріях, що призводять до зниження проникності клітинної стінки або активному виведенню препарату з мікробної клітини. Не меншу актуальність набуває проблема стійкості до макролідів, пов'язаної із набуттям бактеріями модифікацій мішені. На теперішній час описано 3 різновиди можливих модифікацій: метилування 238 субодиниці рРНК (існує більше 20 кодуєчих



фермент метилазу генів); мутація в 5 домені 238 субодиниці рРНК; мутації в генах рибосомних білків L4 та L22. Крім того, транспортна система бактерій, що кодується *tnf*-геном, додатково забезпечує активне виведення макролідів і лінкозамідів [1].

У контексті вище сказаного, виникає питання, які перспективи та наслідки буде мати гуманна медицина у зв'язку з подальшим розвитком антибіотикорезистентності мікроорганізмів? За результатами досліджень ВООЗ прогнозується, що внаслідок швидкого росту та поширення множинної стійкості бактерій до АБ, велика кількість антибактеріальних препаратів першої лінії до 2025 р. будуть не ефективними для лікування бактеріальних інфекцій, а до 2050 р. резистентність мікроорганізмів може стати причиною збільшення смертності пацієнтів на 10 мільйонів випадків щороку. Такі перспективи, в решті-решт, можуть призвести до виникнення ери повного краху боротьби зі збудниками бактеріальних інфекцій. Тому, особливу увагу необхідно приділити молекулярно-генетичним методам дослідження в мікробіологічній практиці, а саме, ПЛР-РЧ. Вивчення генетичних детермінант і мутацій в генах, пов'язаних з антибіотикорезистентністю мікроорганізмів, дає можливість призначати прицільну ефективну антибіотикотерапію. Крім того, ПЛР-результати вивчення генів антибіотикорезистентності можна використовувати з метою проведення протиепідемічних заходів в лікарняних закладах, що будуть спрямовані на своєчасне виявлення джерела інфекцій та переривання механізмів і шляхів передачі збудників. Таким чином, впровадження ряду національних, регіональних та глобальних планів дій спрямованих на боротьбу з антибіотикорезистентністю, а саме: формування стратегії лікування бактеріальних інфекцій, підвищення обізнаності медиків, проведення моніторингу поширення стійкості до АБ, сприяння науковим дослідженням по вивченню молекулярних механізмів стійкості бактерій – стають сьогодні пріоритетним напрямом медичної галузі. Адже формування стійкості бактерій до АБ – це серйозна загроза для світової системи охорони здоров'я, яка потребує прийняття ефективних заходів щодо запобігання розвитку та поширенню резистентності до антибактеріальних препаратів [42].

Узагальнення та висновки.

Впродовж всього існування «ери антибіотиків» мікроорганізми формують нові і нові біохімічні механізми стійкості до АБ та з легкістю передають ці властивості іншим бактеріям, що в свою чергу значно ускладнює проведення лікування бактеріальних інфекцій. Для ефективної боротьби з антибіотикорезистентністю необхідно створити умови для вивчення і отримання нових фактичних даних про механізми формування стійкості до АБ. Оптимальна стратегія боротьби повинна базуватись не тільки на розробці глобальних програм по запобігання поширенню резистентності, а й на розробці і впровадженні в роботу інноваційних форм мікробіологічних досліджень.

Література.

1. Романюк Л.Б. Антибіотикорезистентність умовно-патогенних мікроорганізмів: актуальність, умови виникнення, шляхи подолання



[Електронний ресурс] / Л.Б. Романюк, Н.Я. Кравець, С.І. Климнюк, В.С. Копча, О.Й. Дронова // Інфекційні хвороби. – 2019. – Т.4. – С. 63-71. – DOI: 10.11603/1681-2727.2019.4.10965

2. Friedrich A.W. Control of hospital acquired infections and antimicrobial resistance in Europe: the way to go [Електронний ресурс] / A. W. Friedrich // Wiener Medizinische Wochenschrift. – 2019. – Т.169., №1. – С. 25-30. – DOI: 10.1007/s10354-018-0676-5

3. Vrynchanu N.O. The problem of resistance of microorganisms—challenge to humanity [Електронний ресурс] / N.O. Vrynchanu, T.A. Bukhtiarova // Farmatsevtichniy zhurnal. – 2021. – №1. – С. 57-71. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32352/0367-3057.1.21.07>

4. Antimicrobial resistance. World Health Organization. 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/antimicrobial-resistance>.

5. Перцева Т.А. Челлендж по антимікробній резистентності в пульмонології як основа таргетної і безпечної антибактеріальної терапії ІНДП [Електронний ресурс] / Т.А. Перцева // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека пацієнтів в Україні: стан і шляхи її покращення» (6-7 червня 2017 року). – Дніпро: ДП «НВЦ «Пріоритети», 2017. – С. 20-22. – Режим доступу: <http://repo.dma.dp.ua/2387/>

6. Ефименко Т.А. Современное состояние проблемы антибиотикорезистентности патогенных бактерий [Електронний ресурс] / Т.А. Ефименко, Л.П. Терехова, О.В. Ефременкова // Антибиотики и химиотерапия. – 2019. – Т.64, №. 5-6. – С. 64-68. – DOI: 10.24411/0235-2990-2019-10033

7. Маталыгина О. А. Антибиотикорезистентность как широкий и многогранный биологический феномен [Електронний ресурс] / О. А. Маталыгина // Медицина: теория и практика. – 2020. – Т.5., №.3. – С. 39-44. – Режим доступу: <http://ojs3.gpmu.org/index.php/med-theory-and-practice/article/view/2465/2464>

8. Вринчану Н.О. Біоплівки. Сучасний стан і перспективи антимікробної терапії [Електронний ресурс] / Н.О. Вринчану, Д.М. Дудікова, Н.І. Гринчук, В.В. Недашківська // Фармакологія та лікарська токсикологія. – 2019. – Т.13., №.5. – С. 311-321. – Режим доступу: <https://www.pharmtox-j.org.ua/index.php/pharmtox-j/article/view/24>

9. WHO publishes list of bacteria for which new antibiotics are urgently needed. World Health Organization. 2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.who.int/ru/news/item/27-02-2017-who-publishes-list-of-bacteria-for-which-new-antibiotics-are-urgently-needed>

10. Sadowy E. Mobile genetic elements beyond the VanB-resistance dissemination among hospital-associated enterococci and other Gram-positive bacteria [Електронний ресурс] / E. Sadowy // Plasmid. – 2021. – Volume 114. – С. 102558. DOI: 10.1016/j.plasmid.2021.102558

11. Wardal E. Diversity of plasmids and Tn1546-type transposons among VanA Enterococcus faecium in Poland [Електронний ресурс] / E. Wardal, A. Kuch, I. Gawryszewska, D. Żabicka, W. Hryniewicz, E. Sadowy // European Journal of



Clinical Microbiology & Infectious Diseases. – 2017. – Т. 36, №2. – С.313-328.
Publ. DOI: [10.1007/s10096-016-2804-8](https://doi.org/10.1007/s10096-016-2804-8)

12. Siever DM Vancomycin-resistant Staphylococcus aureus in the United States, 2002-2006 [Электронный ресурс] / DM Siever, JT Rudrik, JB Patel, LC McDonald, MJ Wilkins, JC Hageman // Clin Infect Dis. – 2008. – Т.46(5). – С.668–674. – DOI: [10.1086/527392](https://doi.org/10.1086/527392).

13. Gardete S. Mechanisms of vancomycin resistance in Staphylococcus aureus [Электронный ресурс] / S. Gardete, A. Tomasz // Clin Invest. – 2014. –Т.124(7). – С.2836-2840. – DOI: [10.1172/JCI68834](https://doi.org/10.1172/JCI68834).

14. McGuinness W.A. Focus: infectious diseases: vancomycin resistance in Staphylococcus aureus [Электронный ресурс] / McGuinness W.A., Malachowa N., DeLeo F.R. // The Yale journal of biology and medicine. – 2017. – Т. 90., №. 2. – С. 269-281. – Режим доступа:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5482303/>

15. Кениксфест Ю.В. Анализ ретроспективных данных результатов микробиологического обследования больных атопическим дерматитом [Электронный ресурс] / Ю.В. Кениксфест, М.М. Кохан, Е.И. Стукова, Л.И. Юровских // Consilium Medicum. Дерматология. – 2016. – Т. 1. – С. 10-15. – Режим доступа: http://dermatology.con-med.ru/upload/iblock/0a3/dermal_2016_2.pdf

16. Grigorenko V.G. Bacterial TEM-type serine beta-lactamases: structure and analysis of mutations [Электронный ресурс] / V.G. Grigorenko, M.Yu. Rubtsova, I.V. Uporov, I.V. Ishtubaev, I.P. Andreeva, D.S. Shcherbinin, A.V. Veselovsky, A.M. Egorov // Biomeditsinskaya Khimiya. – 2017. – Т.63, №.6. – С. 499-507. – DOI: [10.18097/pbmc20176306499](https://doi.org/10.18097/pbmc20176306499)

17. Santajit S. Mechanisms of antimicrobial resistance in ESKAPE pathogens [Электронный ресурс] / S. Santajit, N. Indrawattana // BioMed research international. – 2016. – Т. 2016. – С.1-9. – DOI: [10.1155/2016/2475067](https://doi.org/10.1155/2016/2475067)

18. Уляшова М.М. Скрининг бактериальных генов, ответственных за устойчивость к бета-лактамам антибиотикам, с использованием микрочипов с ферментативной детекцией [Электронный ресурс] / М.М. Уляшова, Г.В. Преснова, Ю.И. Поболелова, А.А. Филиппова, А.М. Егоров, М.Ю. Рубцова // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. – 2016. – Т. 57, №. 4. – С. 245-252. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/skrining-bakterialnyh-genov-otvetstvennyh-za-ustoychivost-k-beta-laktamnym-antibiotikam-s-ispolzovaniem-mikrochipov-s-fermentativnoy/viewer>

19. Liakopoulos A A review of SHV extended-spectrum β -lactamases: Neglected yet ubiquitous [Электронный ресурс] /A. Liakopoulos, D. Mevius, D. Ceccarelli // Front Microbiol. – 2016. – Т.7. – С.1374. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01374>

20. Piccirilli A. P174E substitution in GES-1 and GES-5 β -lactamases improves catalytic efficiency toward carbapenems [Электронный ресурс] / A. Piccirilli, P.S. Mercuri, M. Galleni, M. Aschi, A. Matagne, G. Amicosante, M. Perilli // Antimicrob Agents Chemother. – 2018. – Т.62, №5. – e01851-17. – DOI: [10.1128/AAC.01851-17](https://doi.org/10.1128/AAC.01851-17)



21. Iovene M.R. First Italian outbreak of VIM-producing *Serratia marcescens* in an adult polyvalent intensive care unit, August-October 2018: A case report and literature review [Электронный ресурс] / M.R. Iovene, V. Pota, M. Galdiero, et al. // World J Clin Cases. – 2019. – Т.7, №21. – С.3535-3548. – DOI: 10.12998/wjcc.v7.i21.3535

22. Niu S. A ceftazidime-avibactam-resistant and carbapenem-susceptible *Klebsiella pneumoniae* strain harboring blaKPC-14 isolated in New York City [Электронный ресурс] / S. Niu, K.D. Chavda, J. Wei, C. Zou, S.H. Marshall et al. // mSphere. – 2020. – Т.5, №4. – e00775-20. – DOI:10.1128/mSphere.00775-20

23. Bonnin R.A. Detection of GES-5 carbapenemase in *Klebsiella pneumoniae*, a newcomer in France [Электронный ресурс] / R.A. Bonnin, A.B. Jousset, N. Urvoy, L. Gauthier, L. Tlili, E. Creton, et al. // Antimicrob Agents Chemother. – 2017. – Т.61, №3. – e02263-16. – DOI:10.1128/AAC.02263-16

24. Brouwer MSM. Novel carbapenemases FLC-1 and IMI-2 encoded by an *Enterobacter cloacae* complex isolated from food products [Электронный ресурс] / MSM Brouwer, KHME. Tehrani, M. Rapallini, et al. // Antimicrob Agents Chemother. – 2019. – Т.63, №6. – e02338-18. – DOI: 10.1128/AAC.02338-18

25. Antonelli A. Characterization of a novel putative Xer-dependent integrative mobile element carrying the bla(NMC-A) carbapenemase gene, inserted into the chromosome of members of the *Enterobacter cloacae* complex [Электронный ресурс] / A. Antonelli, MM. D'Andrea, V. Di Pilato, et al. // Antimicrob Agents Chemother. – 2015. – Т.59, №10. – 6620-6624. – DOI: 10.1128/aac.01452-15

26. Sawa T. Molecular diversity of extended-spectrum β -lactamases and carbapenemases, and antimicrobial resistance [Электронный ресурс] / T. Sawa, K. Kooguchi, K. Moriyama // J intensive care. – 2020. – Т.8, №13. – DOI: 10.1186/s40560-020-0429-6

27. Henriques I. Molecular characterization of a carbapenem-hydrolyzing class A β -lactamase, SFC-1, from *Serratia fonticola* UTAD54 [Электронный ресурс] / I. Henriques, A. Moura, A. Alves, MJ Saavedra, A. Correia // Antimicrob Agents Chemother. – 2004. – Т.48, №6. – С.2321-2324. – DOI: 10.1128/AAC.48.6.2321-2324.2004

28. Землянко О.М. Механизмы множественной устойчивости бактерий к антибиотикам [Электронный ресурс] / О.М. Землянко, Т.М. Рогоза, Г.А. Журавлева // Экологическая генетика. – 2018. – Т.16, №3. – С.4-17. – DOI: 10.17816/ecogen1634-17

29. Габриэлян Н.И. Проблема глобального развития антибиотикоустойчивости возбудителей нозокомиальных инфекций [Электронный ресурс] / Н.И. Габриэлян, С.О. Шарапченко, О.В. Кисиль, В.Г. Кормилицина, И.В. Драбкина и др. // Терапевтический архив. – 2020. – Т.92, №11. – С.110-116. – DOI: 10.26442/00403660.2020.11.000783

30. Bush K. Updated functional classification of betalactamases [Электронный ресурс] / K. Bush, G.A. Jacoby // Antimicrob. Agents Chemother. – 2010. – Vol. 54. – С.969-976. – DOI:10.1128/AAC.01009-09

31. Jeon J.H. Structural basis for carbapenem-hydrolyzing mechanisms of carbapenemases conferring antibiotic resistance [Электронный ресурс] / J.H. Jeon,



J.H. Lee, J.J. Lee, et al. // Int J Mol Sci. – 2015. – T.16, №5. – С. 9654-9692. – DOI: 10.3390/ijms16059654

32. Smith CA Structural insights into the mechanism of carbapenemase activity of the OXA-48 β -lactamase [Електронний ресурс] / C.A. Smith, N.K. Stewart, M. Toth, S.B. Vakulenko // Antimicrob Agents Chemother. – 2019. – T.63, №10. – e01202-19. – DOI: 10.1128/AAC.01202-19

33. Doi Y. Treatment options for carbapenem-resistant gramnegative bacterial infections [Електронний ресурс] / Y. Doi // Clin Infect Dis. – 2019. – T.69, №7. – С.565-S575. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1093/cid/ciz830>

34. Joshi P.R. Co-existence of blaOXA-23 and blaNDM-1 genes of Acinetobacter baumannii isolated from Nepal: Antimicrobial resistance and clinical significance [Електронний ресурс] / PR Joshi, M Acharya, T Kakshapati, U. Leungtongkam, R. Thummeepak, S. Sitthisak // Antimicrob Resist Infect Control. – 2017. – T.6, №21. – DOI: 10.1186/s13756-017-0180-5

35. Lowe C.F. The brief case: IMP, the uncommonly common carbapenemase [Електронний ресурс] / C.F. Lowe, N. Matic, S. Champagne, M.G. Romney, V. Leung, G. Ritchie // J Clin Microbiol. – 2020. – T.58, №4. – e01094-19. – DOI: 10.1128/JCM.01094-19

36. Zmarlicka M. Impact of the New Delhi metallo-beta-lactamase on beta-lactam antibiotics [Електронний ресурс] / M. Zmarlicka, M. Nailor, D. Nicolau // Infect Drug Resist. – 2015. – T.8. – С.297-309. – DOI:10.2147/IDR.S39186

37. Пилипенко М.М. Поєднання карбапенемрезистентності та колістинрезистентності збудників тяжких грамнегативних нозокоміальних інфекцій: перші ознаки настання постантибіотичної ери [Електронний ресурс] / М.М. Пилипенко, Т.В. Овсієнко, М.В. Бондар // Медицина неотложных состояний. – 2019. – №.2(97). – С.54-62. – DOI: 10.22141/2224-0586.2.97.2019.161643

38. Методические указания по определению чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам (МУК 4.2 1890 – 2004 г.) [Електронний ресурс]. Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2004. – Т. 6, № 4. – С. 306-359 – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200038583>

39. Шагинян, И.А. Роль и место молекулярно-генетических методов в эпидемиологическом анализе внутрибольничных инфекций [Електронний ресурс] / И.А. Шагинян // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2000. – Т.2, № 3. – С. 82-95 – Режим доступа: <https://smac-journal.ru/publication/2000/3/smac-2000-t02-n3-p082/smac-2000-t02-n3-p082.pdf>

40. Белая Я.С. Проблема антибиотикорезистентности микроорганизмов в современном мире [Електронний ресурс] / Я.С. Белая, В.О. Лемешевский // Тези доповідей XX міжнародної наукової конференції «Сахаровські читання 2020 року: екологічні проблеми ХХІ століття» (21-22 травня 2020г). – г.Мінськ: ІВЦ Мінфіна, 2020. – С.24-26. – DOI:10.46646/SAKH-2020-2-24-26.

41. Полякова Е.М. Распространенность генов аминогликозидомодифицирующих ферментов Staphylococcus aureus, выделенных от пациентов с ортопедической инфекцией [Електронний ресурс] /



Е.М. Полякова, А.Б. Гурбанова, Д.В. Лабутин, С.А. Божкова, Е.М. Гордина // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – №1. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=30483>

42. Устойчивость к антибиотикам: учет культурных контекстов здоровья при решении глобальной проблемы здравоохранения. Всемирная организация здравоохранения, 2019 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330028>

References

1. Romanyuk LB, Kravets NY, Klimnyuk SI. [et al.] Antibiotikorezistentnost umovno-patogennykh mikroorganizmiv: aktual'nist, umovi viniknennya, shlyakhi podolannya [Antibiotic resistance of intellectually pathogenic microorganisms: relevance, reason, podolannya paths] // Infektsionnyye bolezni – Infectious diseases. 2019. N. 4. P. 63-71
2. Friedrich AW. Control of hospital acquired infections and antimicrobial resistance in Europe: the way to go // *Wiener Medizinische Wochenschrift*. 2019. Vol. 169. N. 1. P. 25-30.
3. Vrynchanu NO, Bukhtiarova TA. The problem of resistance of microorganisms—challenge to humanity // *Farmatsevtichnyi zhurnal*. 2021. N. 1. P. 57-71.
4. Antimicrobial resistance. World Health Organization. 2020. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>.
5. Pertseva TA. Chellendzh po antimikrobnoy rezistentnosti v pulmonologii kak osnova targetnoy i bezopasnoy antibakterialnoy terapii INDP [Challenge on antimicrobial resistance in pulmonology as the basis for targeted and safe antibacterial therapy of LRTI]. Tezisy dopolnitelnykh tem Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Bezopasnost v Ukraine: strana i dvoryanstvo» (6-7 iyunya 2017 g.) – Abstracts of additional topics of the International Scientific and Practical Conference "Security in Ukraine: Country and Nobility" (June 6-7, 2017). P. 20-22. URL: <http://repo.dma.dp.ua/2387/>
6. Yefimenko TA, Terekhova LP, Yefremenkova OV. Sovremennoye sostoyaniye problemy antibiotikorezistentnosti patogennykh bakteriy [The current state of the problem of antibiotic resistance of pathogenic bacteria] // *Antibiotiki i khimioterapiya – Antibiotics and chemotherapy*. 2019. Vol. 64. N. 5-6. P. 64-68.
7. Matalygina OA. Antibiotikorezistentnost kak shirokiy i mnogogrannyi biologicheskiy fenomen [Antibiotic resistance as a wide and multifaceted biological phenomenon] // *Medsina: teoriya i praktika – Medicine: theory and practice*. 2020. Vol. 5. N. 3. P. 39-44. URL: <http://ojs3.gpmu.org/index.php/med-theory-and-practice/article/view/2465/2464>
8. Vrynchanu NO., Dudikova DM., Hrynchuk NI. [et al.] Suchasnyy stan i perspektyvy antymikrobnoyi terapiyi [Biofilms. Current state and prospects of antimicrobial therapy] // *Farmakolohiya ta likars'ka toksykolohiya – Pharmacology and drug toxicology*. 2019. Vol. 13. N. 5. P. 311-321. URL: <https://www.pharmtox-j.org.ua/index.php/pharmtox-j/article/view/24>
9. WHO publishes list of bacteria for which new antibiotics are urgently needed. World Health Organization. 2017. URL: <https://www.who.int/ru/news/item/27-02-2017-who-publishes-list-of-bacteria-for-which-new-antibiotics-are-urgently-needed>
10. Sadowy E. Mobile genetic elements beyond the VanB-resistance dissemination among hospital-associated enterococci and other Gram-positive bacteria // *Plasmid*. 2021. N. 114. P. 1-7.
11. Wardal E, Kuch A, Gawryszewska I. [et al.] Diversity of plasmids and Tn1546-type transposons among VanA Enterococcus faecium in Poland // *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*. 2017. Vol. 36. N. 2. P. 313-328.
12. Siever DM, Rudrik JT, Patel JB. [et al.] Vancomycin-resistant Staphylococcus aureus in the United States, 2002-2006 // *Clin. Infect. Dis*. 2008. Vol. 46. N. 5. P. 668–674.
13. Gardete S, Tomasz A. Mechanisms of vancomycin resistance in Staphylococcus aureus // *Clin. Invest*. 2014. Vol. 124. N. 7. P. 2836-2840.
14. McGuinness WA., Malachowa N., DeLeo FR. Focus: infectious diseases: vancomycin



- resistance in *Staphylococcus aureus* // The Yale journal of biology and medicine. 2017. Vol. 90. N. 2. P. 269-281. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5482303/>
15. Keniksfest YV., Kokhan MM., Stukova YI. [et al.] Analiz retrospektyvnykh danykh rezul'tativ mikrobiologichnoho obstezhennya khvorykh na atopichnyy dermatyt [An analysis of historical data, the results of microbiological studies of patients with atopic dermatitis] // Consilium Medicum. Dermatolohiya – Consilium Medicum. Dermatology. 2016. N. 1. P. 10-15. URL: http://dermatology.con-med.ru/upload/iblock/0a3/derma1_2016_2.pdf
16. Grigorenko VG, Rubtsova MY, Uporov IV. [et al.] Bacterial TEM-type serine beta-lactamases: structure and analysis of mutations // Biomeditsinskaya Khimiya. 2017. Vol. 63. N. 6. P. 499-507.
17. Santajit S, Indrawattana N. Mechanisms of antimicrobial resistance in ESKAPE pathogens // BioMed research international. 2016. Vol. 1-9.
18. Ulyashova MM., Presnova GV., Pobolelova YI. [et al.] Skrining bakterialnykh genov, otvetstvennykh za ustoychivost k beta-laktamnym antibiotikam, s ispolzovaniyem mikrochipov s fermentativnoy detektsiyey [Screening of bacterial genes responsible for resistance to beta-lactam antibiotics using microchips with enzymatic detection] // Vestnik Moskovskogo universiteta – Bulletin of Moscow University. 2016. Vol. 57. N. 4. P. 245-252. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/skrining-bakterialnyh-genov-otvetstvennyh-za-ustoychivost-k-beta-laktamnym-antibiotikam-s-ispolzovaniem-mikrochipov-s-fermentativnoy/viewer>.
19. Liakopoulos A, Mevius D, Ceccarelli D. A review of SHV extended-spectrum β -lactamases: Neglected yet ubiquitous // Front Microbiol. 2016. N. 7. P. 1-27.
20. Piccirilli A, Mercuri PS, Galleni M. [et al.] P174E substitution in GES-1 and GES-5 β -lactamases improves catalytic efficiency toward carbapenems // Antimicrob. Agents Chemother. 2018. Vol. 62. N. 5. P. 1-11.
21. Iovene MR, Pota V, Galdiero M. [et al.] First Italian outbreak of VIM-producing *Serratia marcescens* in an adult polyvalent intensive care unit, August-October 2018: A case report and literature review // World J. Clin. Cases. 2019. Vol. 7. N. 21. P. 3535-3548.
22. Niu S, Chavda KD, Wei J. [et al.] A ceftazidime-avibactam-resistant and carbapenem-susceptible *Klebsiella pneumoniae* strain harboring blaKPC-14 isolated in New York City // mSphere. 2020. Vol. 5. N. 4. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32848008/>
23. Bonnin RA, Jousset AB, Urvoy N. [et al.] Detection of GES-5 carbapenemase in *Klebsiella pneumoniae*, a newcomer in France // Antimicrob. Agents Chemother. 2017. Vol. 61. N. 3. P. 1-4.
24. Brouwer MS, Tehrani KM, Rapallini M. [et al.] Novel carbapenemases FLC-1 and IMI-2 encoded by an *Enterobacter cloacae* complex isolated from food products // Antimicrob. Agents Chemother. 2019. Vol. 63. N. 6. P. 1-6.
25. Antonelli A, Andrea MM, Di Pilato V. [et al.] Characterization of a novel putative Xer-dependent integrative mobile element carrying the bla_{NMC-A} carbapenemase gene, inserted into the chromosome of members of the *Enterobacter cloacae* complex // Antimicrob. Agents Chemother. 2015. Vol. 59. N. 10. P. 6620-6624.
26. Sawa T, Kooguchi K, Moriyama K. Molecular diversity of extended-spectrum β -lactamases and carbapenemases, and antimicrobial resistance // J. intensive care. 2020. Vol. 8. N. 13. URL: <https://jintensivecare.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40560-020-0429-6>
27. Henriques I, Moura A, Alves A. [et al.] Molecular characterization of a carbapenem-hydrolyzing class A β -lactamase, SFC-1, from *Serratia fonticola* UTAD54 // Antimicrob. Agents Chemother. 2004. Vol. 48. N. 6. P. 2321-2324.
28. Zemlyanko OM, Rogoza TM, Zhuravleva GA. Mekhanizmy mnozhestvennoy ustoychivosti bakteriy k antibiotikam [Mechanisms of multiple resistance of bacteria to antibiotics] // Ekologicheskaya genetika – Ecological genetics. 2018. Vol. 16. N. 3. P. 4-17.
29. Gabrielyan NI, Sharapchenko SO, Kisil OV. [et al.] Problema global'nogo razvitiya antibiotikoustoychivosti vzbuditeley nozokomial'nykh infektsiy [The problem of global development of antibiotic resistance of causative agents of nosocomial infections] //



Terapevticheskiy arkhiv – Therapeutic archive. 2020. Vol. 92. N. 11. P. 110-116.

30. Bush K, Jacoby GA. Updated functional classification of betalactamases // Antimicrob. Agents Chemother. 2010. Vol. 54. N. 3. P. 969-976.

31. Jeon JH, Lee JH, Lee JJ. [et al.] Structural basis for carbapenem-hydrolyzing mechanisms of carbapenemases conferring antibiotic resistance // *Int. J. Mol. Sci.* 2015. Vol. 16(5), 9654-9692.

32. Smith CA, Stewart NK, Toth M. [et al.] Structural insights into the mechanism of carbapenemase activity of the OXA-48 β -lactamase // Antimicrob. Agents Chemother. 2019. Vol. 63. N. 10. P. 1-14.

33. Doi Y. Treatment options for carbapenem-resistant gramnegative bacterial infections // Clin. Infect. Dis. 2019. Vol. 69. N. 7. P. 565-S575.

34. Joshi PR, Acharya M, Kakshapati T. [et al.] Co-existence of blaOXA-23 and blaNDM-1 genes of *Acinetobacter baumannii* isolated from Nepal: Antimicrobial resistance and clinical significance // Antimicrob. Resist. Infect. Control. 2017. Vol. 6. N. 21. P. 1-7.

35. Lowe CF, Matic N, Champagne S. [et al.] The brief case: IMP, the uncommonly common carbapenemase // J. Clin. Microbiol. 2020. Vol. 58. N. 4. P. 1-4.

36. Zmarlicka M, Nailor M, Nicolau D. Impact of the New Delhi metallo-beta-lactamase on beta-lactam antibiotics // Infect. Drug. Resist. 2015. N. 8. P. 297-309.

37. Pilipenko MM, Ovsiyenko TV, Bondar MV. Vozniknoveniye ustoychivosti k karbapenemam i kolistinu pri tyazhelykh gramotritsatel'nykh vnutribol'nichnykh infektsiyakh: pervyye priznaki postantibioticheskoy ery [The emergence of resistance to carbapenems and colistin in severe gram-negative nosocomial infections: the first signs of the post-antibiotic era] // Meditsina neotlozhnykh sostoyaniy – Medicine of emergency conditions. 2019. Vol. 2. N. 97. P. 54-62.

38. Guidelines for determining the sensitivity of microorganisms to antibacterial drugs (MUK 4.2 1890 – 2004) // Clin. Microbiol. Antimicrob. Chemother. 2004. Vol. 6. N. 4. P. 306-359. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038583>

39. Shaginyan IA. Rol' i mesto molekulyarno-geneticheskikh metodov v epidemiologicheskoy analize vnutribol'nichnykh infektsiy [The role and place of molecular genetic methods in the epidemiological analysis of nosocomial infections] // Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya – Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy. 2000. Vol. 2. N. 3. P. 82-95. URL: <https://cmac-journal.ru/publication/2000/3/cmac-2000-t02-n3-p082/cmac-2000-t02-n3-p082.pdf>

40. Belaya YS., Lemeshevskiy VO. Problema antibiotikorezistentnosti mikroorganizmov v sovremennom mire [The problem of antibiotic resistance of microorganisms in the modern world]. Tezi dopovidey KHKH mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sakharovskiye chteniya 2020 goda: ekologicheskkiye problemy XXI veka» – Abstracts of the XX International Scientific Conference "Sakharov Readings in 2020: Environmental Problems of the XXI Century", 2020, May, 24-26.

41. Polyakova YM., Gurbanova AB., Labutin DV. [et al.] Rasprostranennost' genov aminoglikozidomodifitsiruyushchikh fermentov *Staphylococcus aureus*, vydelennykh ot patsiyentov s ortopedicheskoy infektsiyey [The prevalence of genes of aminoglycoside-modifying enzymes of *Staphylococcus aureus* isolated from patients with orthopedic infection] // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education. 2021. N. 1. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=30483>

42. Antibiotic resistance: integrating cultural contexts of health in addressing the global health challenge. World Health Organization, 2019. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330028/>

Abstract. Antibiotic resistance is one of the most important medical problems today, which the World Health Organization considers a global threat to public health. According to the literature, a serious problem for medical institutions are bacteria of the ESKAPE group: *Enterococcus faecium et faecium* (resistant to vancomycin), *Staphylococcus aureus* (resistant to methicillin), *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter spp.*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas*



aeruginosa. The process of biofilm formation is controlled by the Quorum sensing signaling system, which, in turn, controls the synthesis of toxins and enzymes. Phenotypes of vancomycin-resistant enterococci (VanA, VanB) with genes are part of the Tn 1546 transposon, which can move from chromosomal DNA to plasmids and be transmitted to methicillin-resistant S.aureus, which leads to the formation of more aggressive strains of MRSA. Resistance to β -lactam AB of members of the family Enterobacterales is associated with the β -lactamases and carbapenemases. No less important is the formation of bacterial resistance to aminoglycosides due to the presence of aminoglycoside-modifying enzymes, and resistance to macrolides, which is caused by bacterial target modifications acquisition. To effectively combat antibiotic resistance, it is necessary to lay the groundwork for studying and obtaining new factual data on the mechanisms of AB resistance formatio.

Key words: antibiotic resistance, biofilm, Quorum sensing system, β -lactamases, carbapenemases, PCR-RT

Стаття відправлена 12.05.2021 р.
Поліщук Н.М.



UDC 579.238.2

THE STRUCTURE OF ATPASE RAV_A OF *THORARCHAEOTA*СТРУКТУРА АТФАЗИ RAV_A *THORARCHAEOTA*

Venger A. M. / Венгер А.М.

PhD (biology), doc. / к.б.н., доц.

Odessa national medical University, Odessa, Valikhovsky Lane 2, 65082, Ukraine

Одеський національний медичний університет, Одеса, Валіховський пров., 2, 65082, Україна

Venger O.O. / Венгер О.О.

PhD (biology), j. s. r. / к.б.н., м.н.с.

Plant breeding and genetics Institute – National center of seed and cultivar investigation,

Ovidiopol's'ka road, 3, Odessa, 65036, Ukraine 65036

Селекційно-генетичний інститут

Національний центр насіннізнавства та сортовивчення,

Одеса, Овідіопольська дор., 3, Україна, 65036

Kovalchuck L.I. / Ковальчук Л.Й.

d.m.s., doc. / д.м.н., доц

The state institution South Ukrainian

National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky,

Odessa, Staroportofrankivs'ka str., 26, Ukraine, 65000

Південноукраїнський національний педагогічний університет ім. К. Д. Ушинського,

Одеса, вул. Старопортофранківська, 26, Україна, 65000

Abstract. ATPase Rav_A is energetically a very important enzyme correlated with evolution of prokaryotes. However, the model of Thorarchaeota ATPase Rav_A is still undiscovered. In the current work we have described the structure of ATPase Rav_A of Thorarchaeota from Asgard superphylum. There were detected and described the domains and ligands of ATPase Rav_A. Additionally, the oligomeric state conservation was provided. The overall research was fulfilled by bioinformatic methods including SWISS-model service.

Key words: Thorarchaeota, ATPase Rav_A, SWISS-model service, Asgard, bioinformatic methods.

Introduction. The origin and cellular complexity of eukaryotes is being represented as a major enigma in biology. The highly corresponding scenario is when an archaeal host cell and an alphaproteobacterial (mitochondrial) endosymbiont merged, producing the first eukaryotic cell. However, the origin of the structural complexity that characterizes eukaryotic cells remains unclear. *Thor*-, *Odin*- and *Heimdallarchaeota*, as well as *Lokiarchaeota*, are included in the 'Asgard' superphylum, which is a group of uncultivated archaea. Moreover, an interesting fact is that the 'Asgard' archaea affiliate with eukaryotes in phylogenomic analyses, and their genomes are enriched for proteins formerly considered specific to eukaryotes. Several homologues of eukaryotic membrane-trafficking machinery components, including Sec23/24 and TRAPP domains, are encoded by thorarchaeal genomes. Additionally, the thorarchaeal proteins are identified being with similar features to eukaryotic coat proteins involved in vesicle biogenesis. What is more, the archaeal host cell already contained many key components that govern eukaryotic cellular complexity [5].

ATPase Rav_A being energetically important enzyme is present in different forms of life. The evolution of ATPase Rav_A can be correlated with evolution phylogeny of



prokaryotes and eukaryotes. Nevertheless, the structure of enzymes in some *Asgardarceae* remains still unknown and undiscovered. Therefore, the purpose of the current scientific work was to build and describe the structure of ATPase *RavA* of *Thorarchaeota* with the help of the SWISS-model.

Materials and Methods Primary amino acid sequence for which templates were searched and models were built:

MRIAVIDESRCRPKDCTHECQRFPCPRVRTGDETVIFPNGPDKPPVIVEALCSGE
AICVKKCPYHVVISIVNLPEELES DTS HRYSVNGFKLFRLPIPKEGK
VLGLIPNGVGKTTALRILAGELQPNLGNLEEPSWDEIILQYRGSELQPFFER
MQEGTITAVHKPQNITDLPKLESVADKPISELLEAADTSGRLNGLR
EDMNLNEIWERPIKYLGGELQRVAVTAAIVREGDFYFFDEPTAYLDVRERL
RMARAIRHLSSLGKTVVVVEHDL SMLDYVSDLICIFYGGPGTYGIVSH
PHGTRVGVNIFLDGYIPDENMRFRDTAISFKGMTGEDEEYIGAETLLEYGKM
RKEFEDFTLEVKGGRVTRGQIIGILGPNGIGKTTFVRMLAGELEPEEG
EAPKKT VSGFDLKVAYKPQYIKGDYDGSMRMYLREAGGNTVDSADFRTSVI
RRLGLEDLMDNNVSELGGELQRATIARTLAQDADIYLFDEPSAFLDIE
QRLESSRAIRKTIQVSMRTAFVVEHSILMADYLSDSMVVFGGVP GKKGIASSI
TTLRNGMNAFLRQMGVTFRRDPQTGRPRVNKDGSRLDAQQKASGEYY
YVGS

Template Search

Template search with BLAST and HHblits has been performed against the SWISS-MODEL template library (SMTL).

The target sequence was searched with BLAST against the primary amino acid sequence contained in the SMTL. A total of 17 templates were found [1, 3].

An initial HHblits profile has been built using the procedure outlined in [4], followed by 1 iteration of HHblits against NR20. The obtained profile has then been searched against all profiles of the SMTL. A total of 8342 templates were found.

Template Selection

For each identified template, the template's quality has been predicted from features of the target-template alignment. The templates with the highest quality have then been selected for model building.

Model Building

Models are built based on the target-template alignment using ProMod3. Coordinates which are conserved between the target and the template are copied from the template to the model. Insertions and deletions are remodelled using a fragment library. Side chains are then rebuilt. Finally, the geometry of the resulting model is regularized by using a force field. In case loop modelling with ProMod3 fails, an alternative model is built with PROMOD-II [2].

Model Quality Estimation

The global and per-residue model quality has been assessed using the QMEAN scoring function. For improved performance, weights of the individual QMEAN terms have been trained specifically for SWISS-MODEL.

Ligand Modelling

Ligands present in the template structure are transferred by homology to the model when the following criteria are met: (a) The ligands are annotated as



biologically relevant in the template library, (b) the ligand is in contact with the model, (c) the ligand is not clashing with the protein, (d) the residues in contact with the ligand are conserved between the target and the template. If any of these four criteria is not satisfied, a certain ligand will not be included in the model. The model summary includes information on why and which ligand has not been included.

Oligomeric State Conservation

The quaternary structure annotation of the template is used to model the target sequence in its oligomeric form. The method is based on a supervised machine learning algorithm, Support Vector Machines (SVM), which combines interface conservation, structural clustering, and other template features to provide a quaternary structure quality estimate (QSQE). The QSQE score is a number between 0 and 1, reflecting the expected accuracy of the interchain contacts for a model built based a given alignment and template. Higher numbers indicate higher reliability. This complements the GMQE score which estimates the accuracy of the tertiary structure of the resulting model.

Results and discussion The hexameric ATPase *RavA* and the decameric lysine decarboxylase *LdcI* form a 3.3 MDa cage, proposed to assist assembly of specific respiratory complexes in *Thorarchaeota*. Here, we show that inside the *LdcI-RavA* cage, *RavA* hexamers adopt an asymmetric spiral conformation in which the nucleotide-free seam is constrained to two opposite orientations. Cryo-EM reconstructions of free *RavA* reveal two co-existing structural states: an asymmetric spiral, and a flat C2-symmetric closed ring characterised by two nucleotide-free seams. As result of research two types of ligands – adenosine-5'-diphosphate and iron/sulfur cluster were detected. The closed ring *RavA* state bears close structural similarity to the pseudo two-fold symmetric crystal structure of the AAA+ unfoldase ClpX, suggesting a common ATPase mechanism (fig. 1).

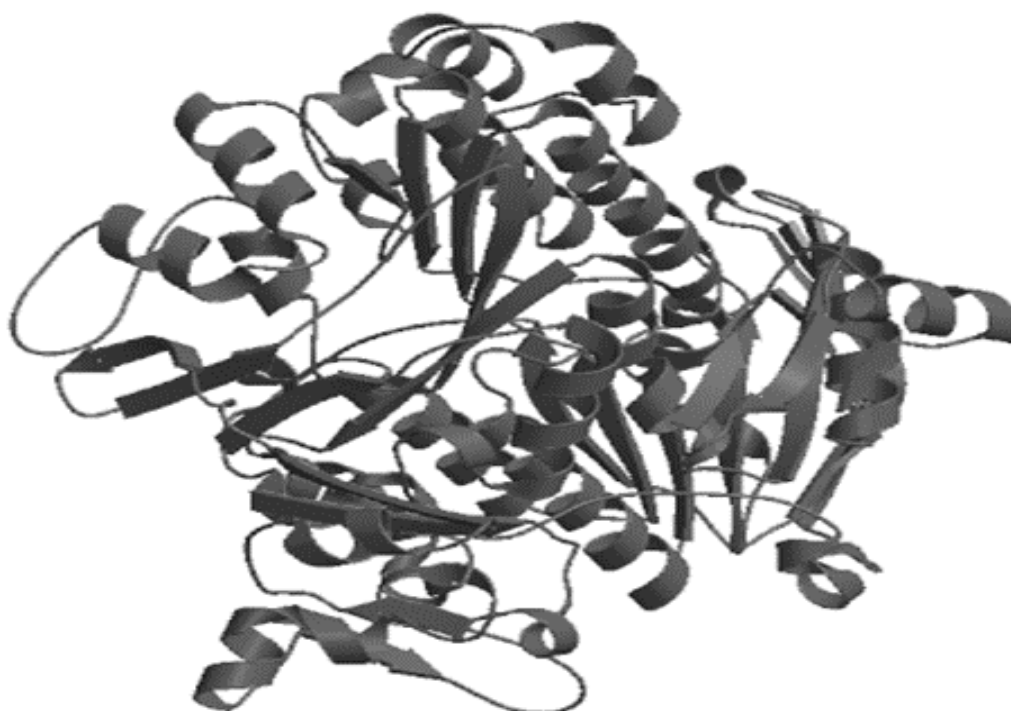


Fig. 1. Three-dimensional structure of ATPase *RavA* of *Thorarchaeota*



Conclusion Accordingly, to results of the fulfilled research, the three-dimensional structure of ATPase RavA of *Thorarchaeota* had been constructed. Ligands and domains of ATPase RavA were detected. The concept of its structure may be applied for prediction of prokaryotic evolution.

References

1. Camacho C., Coulouris G., Avagyan V., Ma N., Papadopoulos J., Bealer K., Madden T.L. BLAST+: architecture and applications // BMC Bioinformatics. – 2009. – Vol. 10. – P. 421-430.
2. Guex N., Peitsch M. C. SWISS-MODEL and the Swiss-PdbViewer: an environment for comparative protein modeling // Electrophoresis. – 1997. – Vol. 18 (15). – P. 2714– 2723.
3. <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>
4. Remmert M., Biegert A., Hauser A., Söding J. HHblits: lightning-fast iterative protein sequence searching by HMM-HMM alignment // Nat Methods. – 2012. – Vol. 9. – P. 173-175.
5. Zaremba-Niedzwiedzka K., Caceres E., Saw J., Bäckström D., Juzokaite L., Vancaester E., Seitz K., Anantharaman K., Starnawski P., Kjeldsen K., Stott M., Nunoura T., Banfield J., Schramm A., Baker B., Spang A., Ettema T. Asgard archaea illuminate the origin of eukaryotic cellular complexity // Nature. – 2017. – V. 541 (7637) . – P. 353-358.

Анотація. АТФаза RavA є важливим енергетичним ферментом, що корелює з еволюцією прокаріотів. Однак модель та структура АТФази RavA архей *Thorarchaeota* досі не описана. У даній роботі ми описали структуру АТФази RavA *Thorarchaeota* з токсону *Asgard*. Були виявлені та описані домени та ліганди АТФази RavA. Крім того, було визначено олігомерний стан ферменту. Загальне дослідження було проведено біоінформативними методами, включаючи службу SWISS-моделі.

Ключові слова: *Thorarchaeota*, АТПаза RavA, SWISS, *Asgard*, біоінформатні методи.

The article was sent 07.06.2021
Venger A.M.



УДК 664:634.31/.33

NUTRITIONAL AND BIOLOGICAL VALUE OF CITRUS FRUITS

ХАРЧОВА І БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ ЦИТРУСОВИХ ФРУКТІВ

Voitsekhivskyi V. / Войцехівський В.

PhD./к. с.-г. н., доц.

Denisyuk V. / Денисюк В.

Student/ студент

Berezhnyak E. / Бережняк Є.

PhD./к. с.-г. н., доц.

National university of life and environmental sciences of Ukraine, Kiev

Horbatiuk S. / Горбатюк С.

PhD./к.б.н, доц.

Sprut O. / Спрут О.

assist./ асистент

Vinnitsa national medical university named after. M.I.Pirogov

Muliarchuk O. / Мулярчук О.

PhD./к. с.-г. н., доц.

State agrarian and engineering university in Podilia, Ukraine

Konakh V. / Конач В.

PhD./к. мед. н.

Bogomolets National Medical University, Kiev

Balitska L. / Баліцька Л.

Researcher/ н. с.

Simonenko N. / Сімоненко Н.

Researcher/ н. с.

Ukrainian institute for plant varieties examination, Kiev

Annotation. As a result of the research, it was found that the fruits of persimmon and pomegranate have a high nutritional value. The biological value (for the content of ascorbic acid) is higher in the fruits of kiwi, orange and lemon, and for the content of active polyphenols - pomegranate and feijoa. A comprehensive rating assessment of the studied crops, according to the studied indicators, showed that the fruits of orange, kiwi and lemon are the most valuable, and the fruits of persimmon and tangerines have a lower overall value.

Key words: citrus crops, chemical composition, biological value.

Introduction.

Citrus crops are a group of plants of the genus citrus, which are widely cultivated to obtain high-quality fruits. In the world fruit growing, about 28 species are grown: orange, grapefruit, tangerine, lemon, bergamot, citron, lime, etc. The most common are orange, tangerine, grapefruit, lemon. The main areas are concentrated in Asia, Brazil, USA, China, South America, India, Pakistan, Australia, Mediterranean countries. World fruit production was (million tons): 24,5 in 1961-65, 34,9 - 1970, 39,7 - 1975, 80,1 - 1990, 94,3 - 1995, 102,5 - 2000, 98, 3 - 2003, 145,2 - 2010, for 2020 the volume of citrus production is more than 200 million tons (fig. 1). Global consumption of fresh and processed forms is constantly growing [3, 7].

In structure of world production of citrus fruits, the leading place is occupied by grapefruits over 42 %, the second - by oranges over 35% (fig. 2).

The fruits of these crops are distinguished by high taste, safety, rich in carbohydrates (sucrose prevails). The highest sugar content is typical for tangerines



(6,6-10,1 %), the lowest for lemons (0,8-3,0 %).

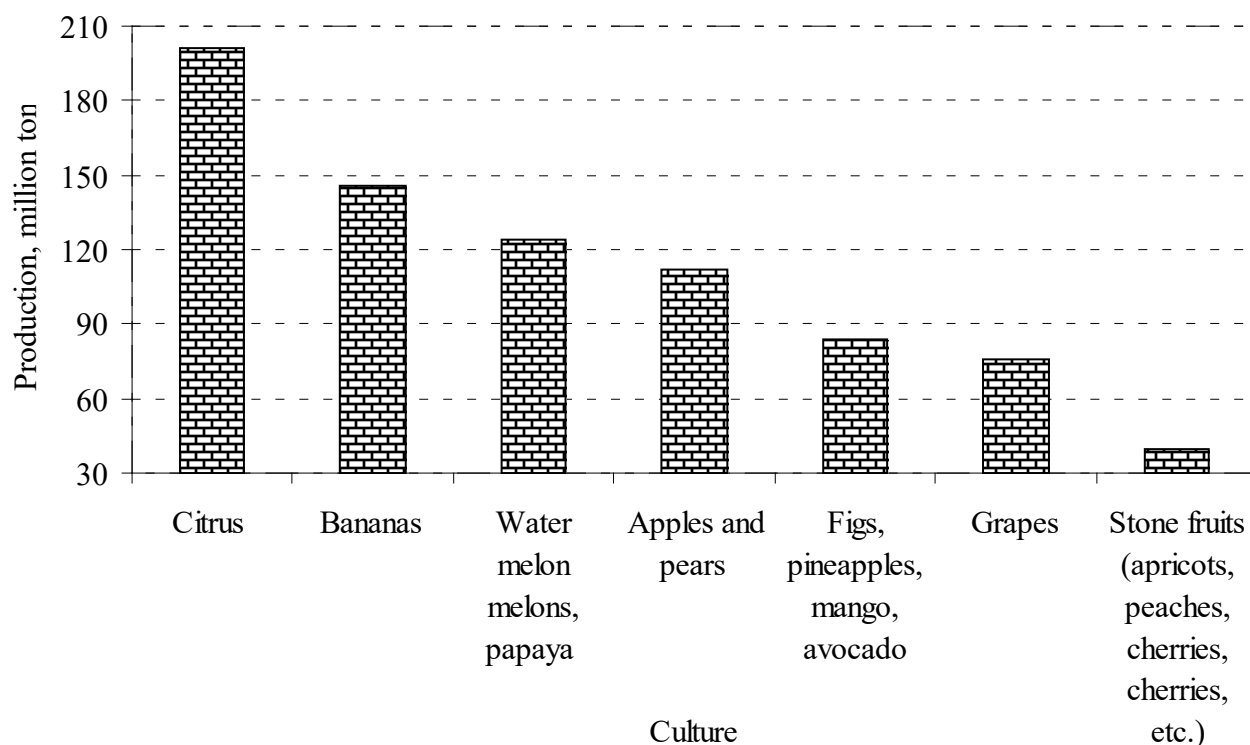


Fig. 1. Fruit production.

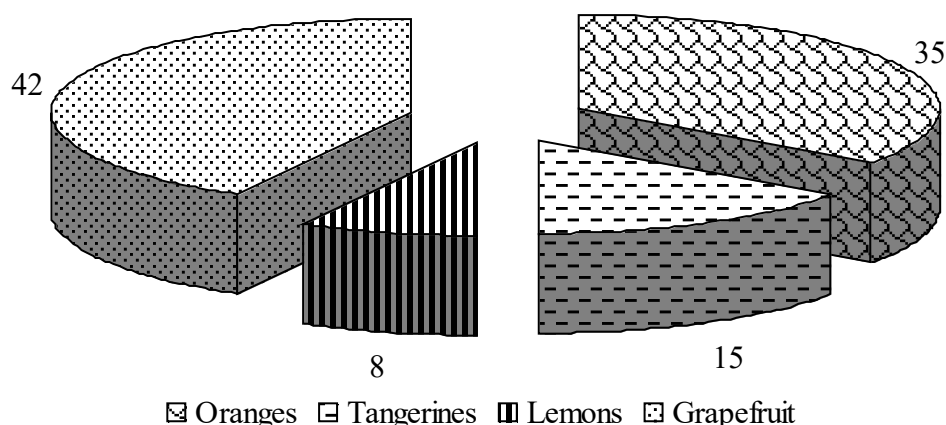


Fig. 2. Citrus production structure

Of organic acids, citric acid predominates, there are less organic acids in tangerines (0,9-1,2 %), and much more in lemons (5,2-7,8 %). Citrus fruits contain fiber, minerals, rich in vitamin C (35-62 mg% in the pulp and 120-180 mg% in the peel). Vitamins of group B, carotene are also contained, in the peel of oranges up to 490 mg% of vitamin P. The essential oils of the peel include up to 150 different components, up to 90 % of which are limonell. The bitter taste of citrus fruits is due to glycosides: hesperitin, hesperidin, naringin, naringinin. The peel differs from the pulp in chemical composition. The peel contains essential oils, glycosides, pectin substances, it is richer in vitamins, it contains more fiber and almost 2 times more minerals than pulp [4, 8, 9].

Citrus fruits have a high biological value due to the presence of biologically active substances. Flavonoids contained in citrus fruits help to assimilate vitamins,



pectin substances reliably protect the cardiovascular system, glycosides (naringin) lower blood pressure, cholesterol levels, protect the heart from heart attack and tone the body. Citrus fruits are consumed fresh and used for processing [2, 5, 6].

The purpose of our research was to carry out a comparative assessment of various citrus crops in terms of nutritional and biological value.

Conditions and methods of research.

The research was conducted in NULES of Ukraine at the department of storage, processing and standardization of planting products named after B.V. Lesika. Perennial data used. The main most common crops were taken for analysis: oranges, lemons, tangerines, grapefruits, pomegranates, persimmons, feijoa and kiwi. The most valuable samples were determined by ranking the studied indicators with the assignment of conditional points [1].

Results and their discussion.

The content of individual components of the biochemical composition is quite variable in the studied cultures. It should be noted that the chemical composition of the fruit soil-climatic conditions, variety, degree of ripeness, conditions and shelf life and transportation. All tropical crops must be harvested at a technical stage of maturity and in the process of transportation and storage in optimal conditions to acquire the highest qualities. Optimal turgor, which provides high marketability and suitability for storage, is important for fruits. The water content in all tested samples was in the range of 80-90%, the lowest in tangerines, pomegranates and feijoa.

Flavedo and albedo of citrus fruits, depending on the species and variety, contain significant amounts of structural carbohydrates of the cell - cellulose, 5-4,4 % and storage carbohydrates - protopectin 1,9-6,1 % water-soluble pectin 0,3-2,1 % and water-soluble sugars 6,5-8,0% on wet weight, while the pulp contains 0,3-0,5 % cellulose, 0,2-0,4 % protopectin, water-soluble pectin 0,4-0,8 %, 2,4-9,0 % water-soluble sugars per wet weight, depending on the type of citrus. Among the water-soluble sugars in the juice and pulp of various types of citrus fruits, glucose, fructose and sucrose are present.

The fruits of the studied citrus fruits contain from 1,9 % to 15,5 % of total sugars. The content of carbohydrates is significant for crops, which should be taken into account by those who control sugar levels, in particular diabetics. High sugar content (over 10 %) was noted in persimmons, pomegranates, kiwis and oranges.

Organic citrus acids are rather strictly distributed in the individual tissues of the fruit. There are more of them in the fruit pulp, much less in the peel and even less in the seeds. The content of organic acids in the peel of citrus fruits is approximately the same for all species, amounting to 0,2-0,3 %, and in the pulp ranges from 5 % tangerines to 6,4 % for lemon. Citrus fruit juice is characterized by the predominance of free acids over bound ones. In contrast to fruits, bound acids predominate in the leaves. For most citrus species, citric acid is the dominant acid. So, in lemon juice, 49-67 mg / ml is citric acid, 1,5-4,3 mg / ml - malic acid, their sum is 97 % of the total. This is followed by malonic, adipic, lactic, oxalic, succinic, tartaric, benzoic acids. Currently, up to 15 organic acids have been found in citrus fruits, among them aconitic, chlorogenic, citramaleic, galacturonic, quinic, isolimonic, which is consistent with the fact that all enzymes of the tricarboxylic acid cycle are found in citrus fruits, which carry out interconversions of organic acids. Crops with a high



content of organic acids include - lemon, feijoa, grapefruit and pomegranate.

Pectins are plant polysaccharides of a complex structure, in other words, soluble dietary fiber. Naturally, pectin is found in all vegetables and fruits. Pectin helps the fruit retain water, thereby preventing water loss and increasing its shelf life. The less moisture the fruits, berries and vegetables have absorbed during the ripening period, the more pectin has accumulated in them. So much for a dry summer. The leaders in the content of pectins are citruses. Their dietary fiber is 70% of this substance. At the same time, pectin should not be abused: the daily dose is no more than 15 g. It should not be taken with an open ulcer of the stomach and intestines, acute cholecystitis and pancreatitis. Excessive use of pectin as dietary supplements can lead to a decrease in the absorption of proteins and fats and the absorption of important minerals (iron, zinc, calcium, magnesium), fermentation and flatulence in the colon. Albedo and flavedo of citrus fruits contain significantly more pectin than pulp, and it is mainly represented by protopectin. The richest in pectin is the peel of lime, then of lemon, grapefruit, orange, and the least of all is the peel of mandarin. The membranes and cores of orange and grapefruit fruits contain significantly more pectin than their peel, and their pectin is more methoxylated than in the peel. The content of pectin in citrus fruits is highest in lemon and feijoa, in others this figure is less than one.

Citrus fruits are rich in natural biologically active phenolic compounds, many of which have P-vitamin activity. Naringin and naringenin are more effective, followed by hesperidin, quercetin. The following flavonoids have been identified from the fruits of various citrus species: flavones, flavonols, flavonones and anthocyanins; flavonones predominate. A special feature of citrus fruits is the presence of fully methoxylated flavones and flavonones, such as tangerine and nobiletin, which are not found anywhere else. The leading place in the content of phenolic substances is taken by pomegranate and feijoa (more than 600 mg / 100 g), other cultures form up to 365 mg / 100 g of raw material.

Citrus fruits contain a number of vitamins, among which ascorbic acid, vitamin P, carotenoids, inositol, choline, nicotinic acid, pyridoxine, riboflavin, thiamine, biotin, folic acid stand out in terms of size and importance. In the fruits of citrus crops, instead of ascorbic acid, add a young leader κ the fruit of kivi to 105 mg / 100 g of syroe speech. In the solution of cultures, the indicator does not change 50 mg / 100 g of raw material.

Using the rating assessment of the studied crops, it was found that the most valuable for the studied indicators are orange, kiwi and lemons, and the lower value of persimmons and tangerines.

Conclusions.

The fruits of persimmon and pomegranate are of high nutritional value. Biological, for the content of vitamin C - higher in fruits of kiwi, orange and estuary, and for the content of active polyphenols - pomegranate and feijoa. The rating assessment of the studied crops, behind the important studied indicators, showed that the most valuable are orange, kiwi and lemons, and the fruits of persimmon and tangerines have a lower value. In further research, it is advisable to compare the nutritional and biological value of citrus fruits with those of the forest-steppe zone of Ukraine.

**Literature:**

1. ДСТУ ЕЭК ООН FFV-14:2007 Фрукти цитрусові. Настанови щодо постачання і контролювання якості (ЕЭК ООН FFV-14:2004, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2009. III, 14 с.
2. Еремеева Н.Б., Макарова Н.В. Фенолы и полифенолы в продуктах питания: влияние антиоксидантов на здоровье человека. Сб.т.к. 2017. С. 59-60
3. Роматов И.Д., Кайимова Д.И. Цитрусовые как лечебные средства. Электр. научн. Жур. «Биология и интегративная медицина». №12. (40) 2019. С.50-108.
4. Branen A.L.,Davidson P.M., Katz B. Antimicrobial prop-erties of phenolic, antioxidants and lipids. Food Technol.-1980.- Т.34(5), Р.42-53.
5. GuthrieN.,CarrollK.K. Inhibition of mammary cancer by citrus flavonoids - Adv.Exp.Med.Biol.1998, 439, 227-236.
6. Harapu C.D.,Miron A.,Cuciureanu M.,Cuciureanu R. Flavonoids--bioactive compounds in fruits juice. Rev. Med. Chir. Soc. Med. Nat. Iasi.2010, Oct-Dec., 114(4), 1209-1214.
7. Rampersaud G.C.,Valim M.F. 100%citrus juice: Nutritional contribution, dietary benefits, and association with anthropometric measures -Crit. Rev. Food Sci. Nutr.2017, Jan 2, 57(1), 129-140.
8. Shirasaka Y.,Shichiri M.,Mori T.,Nakanishi T.,Tamai I. Major active components ingrapefruit, orange, and apple juices responsible for OATP2B1-mediated drug interactions -J. Pharm. Sci.2013, Sep., 102(9), 3418-3426.
9. Uçan F.,Ağçam E.,Akyildiz A. Bioactive compounds and quality parameters of natural cloudy lemon juices -J. Food Sci. Technol.2016, Mar., 53(3), 1465-1474.

© *Voitsekhivskii V., Baranovskyi O., Horbatiuk S.,
Sprut O., Muliarchuk O., Balitska L., Simonenko N., Konakh V.*



УДК 633.321

FODDER PRODUCTIVITY OF DIFFERENT VARIETIES OF MEADOW CLOVER DEPENDING ON THE ELEMENTS OF GROWING TECHNOLOGY**КОРМОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ РІЗНИХ СОРТІВ КОНЮШИНИ ЛУЧНОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ****Demydas H. / Демидась Г.***d. a. s., professor / д. с.-г. н., професор*

ORCID 0000-0001-5004-3840

Galushko I. / Галушко І.*Postgraduate student / аспірант**National university of life and environmental sciences of Ukraine, Kiev**Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ***Poltoretskyi S. / Полторецький С.***d. a. s., professor / д. с.-г. н., професор*

ORCID 0000-0003-3334-0880

Poltoretska N. / Полторецька Н.*Ph.D., associate professor / к.с.-г.н., доцент*

ORCID 0000-0001-9879-1872

*National university of horticulture, Uman, Ukraine**Уманський національний університет садівництва, Умань, Україна*

Анотація. Наведено результати досліджень за 2018–2020 рр. з формування кормової продуктивності за виходом з 1 га сухої маси різних сортів конюшини лучної залежно від способів сівби на різних фонах удобрення на чорноземах типових мало гумусних Лісостепу України. У середньому за перші три роки життя і користування конюшина лучна забезпечує продуктивність за виходом з 1 га сухої маси 8,22–9,88 т, яка мало залежить від способів сівби. За інокуляції насіння бульбочковими бактеріями у поєднанні з внесенням $N_{60}P_{60}K_{90}$ у порівнянні з варіантом без добрив продуктивність підвищується на 8–12%, а за роздільного застосування добрив ($P_{60}K_{90}$ або $N_{60}P_{60}K_{90}$) або інокуляції насіння на фоні без добрив – лише на 4–6%. Поміж добрив найбільшу окупність 1 кг добрив (6–7 кг сухої маси) забезпечує внесення N_{60} на фоні $P_{60}K_{90}$. На першому році на 22–25% вищу продуктивність забезпечує сівба під покрив ячменю ярого, а на другому і третьому роках на 7–10% – безпокровна сівба. Найпродуктивнішим є сорт Тайфун, який на 0,10–0,66 т/га сухої маси переважає сорти Либідь та Тіна. Найвпливовішим за виходом з 1 га сухої маси є фактор удобрення, а в перший рік – спосіб сівби з дольовою часткою 55%. Конюшина лучна щорічно забезпечує одержання трьох укосів кормової біомаси з часткою першого укосу 44–50%, другого – 32–34% і третього – 18–24% та нерівномірністю розподілу урожаю за укосами 30–47%.

Ключові слова: інокуляція насіння, конюшина лучна, продуктивність, розподіл урожаю за укосами, сорт, спосіб сівби, суха маса, удобрення.

Вступ

У вирішенні проблеми збільшення виробництва високопоживних трав'яних кормів для жуйних тварин та поліпшення родючості ґрунту належить конюшині лучній, яка здатна протягом двох років в зоні Полісся України надійно забезпечувати продуктивність 8–12 т/га і більше сухої маси [1, 2].

Важливу роль у формуванні кормової продуктивності та поліпшенні якості кормів належить сортам конюшини лучної [3]. Як свідчать літературні джерела в країнах з розвиненим луківництвом, зокрема, у країнах Європейського союзу,



сортів розмаїтість основних видів багаторічних бобових і злакових трав, у тому числі й конюшини лучної, вища ніж в Україні, [4, 5]. На підставі узагальнень літературних джерел [6–9] сформульовано основні вимоги до сортів різних видів багаторічних бобових трав, які дозволяють тепер і в майбутньому краще використовувати їх генетичний потенціал. Сорти повинні характеризуватись: високою продуктивністю та доброю якістю корму; здатністю добре відростати після частого скошування; достатньою ценотичною активністю навіть при внесенні азоту, що дає можливість ефективно поєднувати використання його з біологічного і мінерального джерел надходження; різною, в значному діапазоні, ритмікою відростання протягом сезону, що дає можливість створювати різнотипні за скоростиглістю травостої різного цільового призначення; високим продуктивним довголіттям до п'яти і більше років; розширеним географічним ареалом та екологічним діапазоном оптимуму, що дає можливість вирощування бобово-злакових травостоїв у суворіших кліматичних й ґрунтових умовах, зокрема й зв'язку із зміною клімату через глобальне потепління; спроможністю до інтенсивного вегетативного відростання вже з першого року життя трав; високою зимостійкістю, стійкістю до вилягання та інших несприятливих явищ; стійкістю до хвороб, шкідників і бур'янів; здатністю ефективніше використовувати абіотичні фактори навколишнього середовища, зокрема вологу, CO₂, світло, температуру, поживні речовини тощо.

Створення на кормових угіддях конюшинових та конюшино-злакових агрофітоценозів за участі конюшини лучної дає можливість істотно підвищити їхню продуктивність, білковість і енергонасиченість кормів, значно зменшити витрати технічного азоту не тільки на виробництво кормів, а й в цілому по сівозміні, істотно скоротити витрати енергії та коштів, а також зменшити негативний вплив на навколишнє середовище азотних добрив, що в сучасних умовах екологічної і енергетичної кризи набуває надзвичайно великого значення для сільськогосподарського виробництва [9, 10].

Створення сіяних одновидових бобових та бобово-злакових травостоїв з підвищеним вмістом бобових – один з найперспективніших напрямків інтенсифікації кормовиробництва у світі [4, 5, 11–13]. Заміна мінерального азоту симбіотичним є важливим резервом скорочення витрат енергії, на долю якого на злакових травостоях інтенсивного типу часто припадає половина її сукупних затрат [6, 14]. Збільшення використання бобових трав у лукувництві є найважливішою складовою частиною програми з впровадження енергозберігаючих технологій за кордоном, зокрема й за органічного лукувництва [15–19].

Дослідженнями, проведеними в різних ґрунтово-кліматичних умовах з різними видами бобових трав, виявлено, що включення їх до складу бобово-злакових ценозів без внесення мінерального азоту підвищує продуктивність кормових угідь у 1,5–2,5, а за збором сирого протеїну – у 2–3 рази порівняно із злаковими травостоями на тому ж фоні РК [20–24]. При цьому використання бобових трав у складі бобово-злакових травостоїв заміняє внесення на злаковий травостій 100–300 кг/га мінерального азоту.



За добору видів і сортів бобових культур до кормових фітоценозів основним принципом є відповідність компонентів комплексу фізичних умов середовища (рівню зволоження, кліматичним і ґрунтовим) та відповідним режимам використання, системі удобрення й догляду тощо, а також ценотичним властивостям компонентів за вирощування багаторічних бобових трав у сумішах із злаками. [25–28].

У Лісостепу і Поліссі України до найважливіших багаторічних бобових трав, які використовуються в кормовиробництві або при зрошенні відносяться: конюшина лучна, повзуча і гібридна; на карбонатних і добре окультурених ґрунтах – люцерна посівна та жовтогібридна; на малородючих ґрунтах під заново освоювані сінокоси – лядвенець рогатий, а в південному Лісостепу – й еспарцет піщаний [27–29]. Конюшина лучна, повзуча й гібридна за сінокісного використання утримуються в складі бобово-злакових травостоїв, а також в одно-видових посівах протягом двох–трьох років. Більшим продуктивним довголіттям (чотири–п'ять років) характеризуються люцерна і лядвенець рогатий [30].

Надходження трав'яних кормів при плануванні зелених чи сировинних конвеєрів або для безперервної годівлі худоби в літній період та ритмічної роботи кормозбиральних машин дуже важливо знати розподіл сумарного урожаю за циклами використання на пасовищах та за укосами – за сінокісного режиму використання травостоїв [6].

Рівномірність розподілу урожаю за укосами залежить від багатьох факторів. Поміж факторів, які найбільше впливають на розподіл урожаю за укосами чи циклами використання травостою є його видовий склад та удобрення, зокрема роздрібне внесення азоту, а також строки відчуження травостою, забезпечення ґрунту вологою тощо [30–32]. Відомо, що за ранніх строків першого відчуження і відповідно із збільшенням його частоти, тобто за пасовищного використання розподіл урожаю за циклами використання, звичайно буде більш рівномірним, ніж за сінокісного режиму. За пасовищного використання, як правило, проводиться 4–5 циклів з яких 4-й і 5-й виключно на випас, за сінокісного – 2–3 цикли, з них – 3-й укіс використовується, у більшості випадків, для випасання худоби. При застосуванні азотних добрив, зокрема роздрібно помітно підвищується не тільки урожайність за циклами використання, а й істотно поліпшується рівномірність розподілу його за циклами використання. Встановлено [31, 32], що поміж типів травостоїв найбільш рівномірним розподілом урожаю за укосами характеризувався люцерно-злаковий травостій з дольовою часткою за сінокісного використання першого укосу 61–62%, другого – 36–37%, третього – 2–3%.

Незважаючи на значний обсяг досліджень з вивчення технологічних заходів вирощування конюшини лучної, питання добору кращих сортів в одновидових посівах за різних технологій її вирощування на кормові цілі в умовах Правобережного Лісостепу України залишаються недостатньо вивченими. Це й стало предметом наших досліджень, які безперечно є актуальними.



Матеріали та методи.

Дослідження виконано на кафедрі кормовиробництва, меліорації і метеорології у польовій сівозміні Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Агрономічна дослідна станція», яка розташована в умовах Правобережного Лісостепу України.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий малогумусний крупнопилуватий середньо-суглинковий, який у 0–20 см шарі містить гумусу 4,3–4,5%, P_2O_5 і K_2O – відповідно 4,6–5,4 і 15,2–15,8 мг/100 г, рН сольовий – 6,9.

У роки досліджень (2018–2020 рр.) в середньому за вегетаційний період температура повітря перевищувала норму або середньо багаторічний показник, який становить 14,8 °С на 1,6–2,4 °С, а в середньому за рік, за норми 8,2 °С, – на 0,5–1,9 °С що підтверджує ситуацію з температурою повітря, яка склалась в останні роки. Кількість опадів у сумі за вегетаційний період була меншою за норму (385 мм) на 12–112 мм, а в сумі за рік, за норми 598 мм – на 54–104 мм. Однак, перевищення температури за норму та зменшення суми опадів не було критичним, що в цілому, позитивно вплинуло на формування урожаю конюшини лучної у роки користування травостоєм.

Польовий трьохфакторний дослід «Продуктивність та якість зеленої маси агрофітоценозів різних сортів конюшини лучної залежно від технологій вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України» закладено навесні 2018 р. за наступною схемою: градація *фактору А* (удобрення) – 1. Без добрив (*контроль*); 2. Інокуляція насіння бульбочковими бактеріями (фон); 3. Фон + $P_{60}K_{90}$; 4. Фон + $N_{60}P_{60}K_{90}$; *фактору В* (сорт) – 1. Либідь; 2. Тайфун; 3. Тіна; *фактору С* (спосіб сівби) – 1. Безпокровний; 2. Підпокровний під ячмінь ярий.

Площа посівної ділянки – 30 м², облікової – 25 м². Повторність досліду чотириразова. Технологія вирощування конюшини лучної за виключенням досліджуваних факторів була загальноприйнятою для правобережного Лісостепу України.

Азотні добрива у вигляді аміачної селітри з вмістом діючої речовини 34%, фосфорні – як простий суперфосфат (18,7%) і калійні – у вигляді калімагnezії (26%), згідно схеми досліду, вносили щорічно рано навесні.

Інокуляцію насіння конюшиновими штамми бульбочкових бактерій проводили, згідно технологічної інструкції, безпосередньо перед сівбою конюшини лучної. Норма висівання конюшини лучної становить 18 кг/га насіння першого класу, а ячменю ярого – 160 кг/га, яка зменшена на 20% від загально прийнятої.

Вміст абсолютно сухої речовини (сухої маси) визначали термостатно-ваговим методом при температурі 105 °С. Облік урожаю зеленої маси здійснювали ваговим методом, шляхом зважування з наступними перерахуванням виходу з 1 га сухої маси [34].

Мета досліджень полягає в установленні закономірностей формування кормової продуктивності агрофітоценозів різних сортів конюшини лучної залежно від технологій вирощування на чорноземах типових малогумусних Правобережного Лісостепу України.



Результати.

Аналіз результатів наших досліджень показав, що в середньому за перші три роки життя і користування травостоями, а саме за 2018–2020 рр. більш впливовими факторами за виходом з 1 га сухої маси виявилися фактори удобрення та сорт з дольовою часткою 40–45% (табл. 1). Частка фактору способів сівби становила 15%. Слід відмітити, що на першому році частка впливу фактору способів сівби була найбільшою (55%), сорту – найменшою (10%). На другому році впливовішими були фактори удобрення та сорт з дольовою часткою впливу 36–37%. На другому році різниця поміж факторами щодо їх впливу на продуктивність була невеликою. Проте, дещо впливовішими були фактори удобрення та сорт з часткою впливу відповідно 36 і 34% та менш впливовим – сорт (27%). На третьому році найвпливовішим був фактор удобрення з дольовою часткою 47% і найменш впливовим – фактор сорт (10%).

Таблиця 1

Продуктивність агрофітоценозів різних сортів конюшини лучної за різних технологій вирощуванням(2018–2020 рр.), т/га сухої маси

Удобрення (фактор А)	Сорт (фактор В)	Рік користування			Середнє
		перший	другий	третій	
Безпокровна сівба (фактор С)					
Без добрив	Либідь	5,96	11,30	7,41	8,22
	Тайфун	6,06	13,01	7,52	8,86
	Тіна	5,98	12,51	7,45	8,65
Інокуляція (фон)	Либідь	6,25	11,87	7,57	8,56
	Тайфун	6,31	13,60	7,75	9,22
	Тіна	6,28	13,41	7,68	9,12
Фон + P ₆₀ K ₉₀	Либідь	6,59	12,21	7,70	8,83
	Тайфун	6,62	13,90	8,05	9,52
	Тіна	6,61	13,68	7,94	9,41
Фон + N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	Либідь	6,82	12,65	8,35	9,27
	Тайфун	6,87	14,26	8,52	9,88
	Тіна	6,84	13,95	8,47	9,75
Сівба під покрив ячменю ярого (фактор С)					
Без добрив	Либідь	(3,61; 3,84) 7,45	10,56	6,77	8,26
	Тайфун	(3,63; 3,93) 7,56	12,16	6,86	8,86
	Тіна	(3,62; 3,87) 7,49	11,69	6,80	8,66
Інокуляція (фон)	Либідь	(3,63; 3,98) 7,61	10,99	7,06	8,55
	Тайфун	(3,65; 4,16) 7,81	12,59	7,15	9,18
	Тіна	(3,64; 4,09) 7,73	12,05	7,09	8,96



Фон + P ₆₀ K ₉₀	Либідь	(3,70; 4,24) 7,74	11,31	7,40	8,82
	Тайфун	(3,72; 4,39) 8,11	12,87	7,43	9,47
	Тіна	(3,71; 4,28) 7,99	12,30	7,42	9,24
Фон + N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	Либідь	(3,95; 4,45) 8,40	11,58	7,63	9,20
	Тайфун	(3,98; 4,59) 8,57	13,15	7,68	9,80
	Тіна	(3,96; 4,56) 8,52	12,59	7,65	9,59
НІР ₀₅ , т/га за факторами					
Удобрення (фактор А)		(0,17; 0,19) 0,33	0,75	0,30	0,46
Сорт (фактор А)		(0,15; 0,17) 0,27	0,70	0,26	0,41
Спосіб сівби (фактор А)		(–; –) 0,34	0,67	0,31	0,44
Частка впливу факторів, %					
Удобрення (фактор А)		(98; 88)35	33	47	55
Сорт (фактор А)		(2; 12)10	34	10	35
Спосіб сівби (фактор А)		(–; –)55	33	33	10

Примітка. У дужках перше число – продуктивність за виходом з 1 га сухої маси зерна ячменю ярого як покривної культури, друге – сухої маси підпокривної конюшини лучної.

В середньому за три роки досліджень продуктивність біомаси різних сортів конюшини лучної за різних технологій вирощування в розрахунку за виходом з 1 га сухої маси коливалась у межах 8,22–9,88 т. Найменшою вона була у сорту Либідь у варіанті без добрив та безпокривної сівби, а найбільшою – у сорту Тайфун за інокуляції насіння бульбочковими бактеріями у поєднанні з внесенням N₆₀P₆₀K₉₀.

Поміж сортів конюшини лучної найвищу продуктивність забезпечив сорт Тайфун, який на різних фонах удобрення та за різних способів сівби переважав сорт Либідь на 0,60–0,66 т/га, а сорт Тіна – на 0,10–0,23 т/га при НІР₀₅ – 0,46 т/га.

Незалежно від сорту конюшини лучної найбільшу продуктивність (9,20–9,88 т/га одержано за інокуляції насіння бульбочковими бактеріями у поєднанні з внесенням N₆₀P₆₀K₉₀, коли вихід з 1 га сухої маси у порівнянні з варіантом без добрив збільшився на 0,93–1,05 т/га сухої маси або на 8–11%. За роздільного застосування добрив або інокуляції насіння продуктивність конюшини лучної збільшувалась значно менше і не перевищувала 0,71 т/га. За інокуляції насіння бульбочковими бактеріями продуктивність підвищилась на 0,36–0,56 т/га за безпокривної сівби і на 0,29–0,32 т/га за сівби під покрив ячменю ярого при НІР₀₅ 0,41 т/га. За внесення на фоні інокуляції P₆₀K₉₀ або N₆₀P₆₀K₉₀ продуктивність збільшилась відповідно на 0,27–0,30 т/га і на 0,23–0,71 т/га. За додавання N₆₀ до P₆₀K₉₀ продуктивність збільшилась на 0,33–0,62 т/га.

Поміж способів сівби в середньому за три роки досліджень суттєвої різниці за продуктивністю не спостерігалось, яка, до того ж, змінювалась ще й не закономірно.



Слід відмітити, що за роками життя і користування конюшини лучної, закономірності щодо впливу досліджуваних факторів на продуктивність біомаси була різною. На першому році за безпокрової сівби урожай сформовано лише з біомаси конюшини лучної, тим часом як за сівби під покрив ячменю ярого – з зерна ячменю ярого як покрової культури та біомаси конюшини лучної як підпокрової культури.

За сівби під покрив ячменю ярого за участі різних сортів конюшини лучної та різного удобрення отримано сумарну продуктивність у межах 7,45–8,52 т/га сухої маси. У тому числі було отримано зерна ячменю ярого в перерахунку на суху речовину 3,61–3,98 т/га і сухої біомаси конюшини лучної – 3,84–4,59 т/га. Сорта конюшини лучної суттєво як на продуктивність за виходом є 1 га зерна ячменю, так і за виходом з 1 га біомаси конюшини лучної або сумарно суттєво не впливали. Тенденційно дещо більшою була продуктивність, особливо біомаси конюшини лучної, була за участі сорту Тайфун.

За сівби під покрив ячменю ярого у цьому разі найвищою продуктивність була за обробляння насіння бульбочковими бактеріями у поєднанні з внесенням $N_{60}P_{60}K_{90}$, коли вихід з 1 га сухої маси у порівнянні з варіантом без добрив збільшився відповідно на 0,34–0,35 т і на 0,61–0,66 т при $НІР_{05}$ 0,17 і 0,19 т. Сумарна продуктивність зерна ячменю та біомаси конюшини лучної за інокуляції насіння бульбочковими бактеріями у поєднанні з внесенням $N_{60}P_{60}K_{90}$ за вирощування різних сортів конюшини коливалась у межах 8,40–8,57 т/га сухої маси, що на 0,95–1,03 т/га сухої маси більше ніж за варіанту без внесення добрив або на 13–14%. За роздільного застосування добрив ($N_{60}P_{60}K_{90}$, $P_{60}K_{90}$ чи N_{60} на фоні інокуляції) або лише інокуляції насіння сумарна або окремо продуктивність зерна ячменю та біомаси конюшини лучної збільшувалась лише на 2–10%. Найбільше збільшення продуктивності було від внесення $N_{60}P_{60}K_{90}$ на фоні інокуляції насіння.

На першому році життя і користування травостоями сумарна продуктивність зерна ячменю і біомаси конюшини за підпокрової сівби була на 1,36–1,68 т/га сухої маси або на 22–25% більшою ніж за безпокрової сівби, коли було одержано три укоси. Однак коли порівняти продуктивність лише за біомасою конюшини лучної то виявляється, що вихід з 1 га сухої маси був навпаки, на 2,12–2,28 т/га або на 36–55% більшим за безпокрової сівби ніж за підпокрової.

Найбільшою продуктивність була на другому році життя і користування, яка за виходом з 1 га сухої маси коливалась у межах 10,56–14,26 т, яка на 0,74–1,11 т або на 7–9% була більшою за безпокрової сівби ніж за сівби під покрив ячменю ярого. На третьому році продуктивність за виходом з 1 га сухої маси коливалась у межах 6,77–8,52 т. Як і на другому році користування на 8–10% вона була більшою за безпокрової сівби ніж за сівби під покрив ячменю ярого.

Незалежно від сорту конюшини лучної найбільшу продуктивність (9,20–9,88 т/га одержано за інокуляції насіння бульбочковими бактеріями у поєднанні з внесенням $N_{60}P_{60}K_{90}$, коли вихід з 1 га сухої маси у порівнянні з варіантом без добрив збільшився на 0,93–1,05 т/га сухої маси або на 8–11%. За роздільного застосування добрив або інокуляції насіння продуктивність конюшини лучної



збільшувалась значно менше і не перевищувала 0,71 т/га. За інокуляції насіння бульбочковими бактеріями продуктивність підвищилась на 0,36–0,56 т/га за безпокритої сівби і на 0,29–0,32 т/га за сівби під покрив ячменю ярого при $НР_{05}$ 0,41 т/га. За внесення на фоні інокуляції $P_{60}K_{90}$ або $N_{60}P_{60}K_{90}$ продуктивність збільшилась відповідно на 0,27–0,30 т/га і на 0,23–0,71 т/га. За додавання N_{60} до $P_{60}K_{90}$ продуктивність збільшилась на 0,33–0,62 т/га.

Надходження трав'яних кормів при плануванні зелених чи сировинних конвеєрів або для безперервної годівлі худоби в літній період та ритмічної роботи кормозбиральних машин дуже важливо знати розподіл сумарного урожаю за циклами використання на пасовищах та за укосами – за сінокісного режиму використання травостоїв.

Аналіз продуктивності травостоїв у наших дослідженнях показав, що закономірності, які отримано в середньому за всі укоси спостерігались й за укосами (табл. 2). У середньому за перші три роки користування, а саме за 2018–2020 рр. в усіх укосах більш впливовими факторами за виходом з 1 га сухої маси виявилися фактори удобрення та сорт з дольовою часткою 25–45%. Частка фактора способів сівби становила 23–30%. Слід відмітити, що від першого до третього укосів частка факторів удобрення та способів сівби дещо зменшувалась, частка сорту збільшувалась.

Таблиця 2

Розподіл урожаю сухої маси сортів конюшини лучної за різних технологій вирощування, 2018–2020 рр.

Удобрєння (фактор А)	Сорт (фактор В)	Т/га			%			V, %*
		Укіс						
		перший	другий	третій	перший	другий	третій	
Безпокривна сівба (фактор С)								
Без добрив	Либідь	3,70	2,88	1,64	45	35	20	38
	Тайфун	3,83	3,19	1,84	44	36	20	36
	Тіна	3,79	2,94	2,02	45	34	21	36
Інокуляція (фон)	Либідь	3,85	3,00	1,71	45	35	20	38
	Тайфун	4,08	3,32	1,82	44	36	20	36
	Тіна	4,00	3,10	2,02	44	34	22	33
Фон + P ₆₀ K ₉₀	Либідь	4,15	2,91	1,77	47	33	20	39
	Тайфун	4,39	3,05	2,08	46	32	22	36
	Тіна	4,32	3,01	2,08	46	32	22	36
Фон + N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	Либідь	4,26	3,06	1,95	46	33	21	38
	Тайфун	4,65	3,16	2,07	44	32	24	30
	Тіна	4,58	3,22	1,95	47	33	20	39



Сівба під покрив ячменю ярого (фактор С)								
Без добрив	Либідь	3,96	2,81	1,49	48	34	18	45
	Тайфун	4,26	3,02	1,58	48	34	18	45
	Тіна	4,16	2,94	1,56	48	34	18	45
Інокуляція (фон)	Либідь	4,10	2,90	1,54	48	34	18	45
	Тайфун	4,42	3,12	1,64	48	34	18	45
	Тіна	4,30	3,05	1,61	48	34	18	45
Фон + P ₆₀ K ₉₀	Либідь	4,32	2,74	1,76	49	31	20	44
	Тайфун	4,55	3,03	1,89	48	32	20	42
	Тіна	4,53	2,86	1,85	49	31	20	44
Фон + N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	Либідь	4,60	2,85	1,75	50	31	19	47
	Тайфун	4,80	3,14	1,86	47	32	21	39
	Тіна	4,80	2,97	1,82	50	31	19	47
НІР ₀₅ , т/га за факторами								
Удобрення (фактор А)		0,17	0,14	0,07	—	—	—	—
Сорт (фактор А)		0,18	0,13	0,07	—	—	—	—
Спосіб сівби (фактор А)		0,19	0,15	0,07	—	—	—	—
Частка факторів, %								
Удобрення (фактор А)		45	43	37	—	—	—	—
Сорт (фактор А)		25	29	40	—	—	—	—
Спосіб сівби (фактор А)		30	28	23	—	—	—	—

Примітка. * – нерівномірність розподілу урожаю за укосами, виражена коефіцієнтом варіації.

В середньому за три роки досліджень продуктивність біомаси різних сортів конюшини лучної за різних технологій вирощування в розрахунку за виходом з 1 га сухої маси у 1-му укосі коливалась у межах 3,70–4,80 т, 2-му – 2,81–3,16 і 3-му – 1,49–2,08 т.

Поміж сортів конюшини лучної у 1-му та 2-му укосах та в більшості випадків у 3-му укосі найвищу продуктивність забезпечив сорт Тайфун, який на різних фонах удобрення та за різних способів сівби переважав сорт Либідь і Тіна – на 1–5%.

Незалежно від сорту конюшини лучної у 1-му та 2-му укосах та більшості випадків у 3-му укосі найбільшу продуктивність одержано за інокуляції насіння бульбочковими бактеріями у поєднанні з внесенням N₆₀P₆₀K₉₀, коли вихід з 1 га сухої маси у порівнянні з варіантом без добрив збільшився на 8–11%. За роздільного застосування добрив у дозах P₆₀K₉₀ чи N₆₀P₆₀K₉₀ на фоні інокуляції чи N₆₀ на фоні P₆₀K₉₀ або інокуляції насіння на фоні без добрив продуктивність конюшини лучної в усіх укосах збільшувалась значно менше, лише на 0–5% і



часто це збільшення було не суттєвим.

Поміж способів сівби в середньому за три роки досліджень суттєвої різниці за продуктивністю в усіх укосах не спостерігалось, яка змінювалась ще й не закономірно.

Аналіз розподілу урожаю різних сортів конюшини лучної за укосами за різного удобрення і способів сівби показав, що найбільшою була частка першого укосу, а найменшою – третього. Частка першого косу коливалась у межах 44–50%, другого – 32–34% і третього – 18–24%. Нерівномірністю розподілу урожаю за укосами, яка виражена коефіцієнтом варіації коливалась у межах 30–47%.

Встановлено, що незалежно від сорту та удобрення дещо кращою рівномірністю розподілу урожаю за укосами була за безпокровної сівби, ніж за сівби під покрив ячменю ярого. У першому випадку частка першого укосу була більшою, а третього меншою на 2–4%. Нерівномірність розподілу урожаю за укосами за безпокровної сівби також була меншою на 6–8%.

Поміж сортів, незалежно від способів сівби дещо кращою рівномірністю розподілу урожаю за укосами характеризувався сорт Тайфун у варіанті з поєднаним застосуванням інокуляції та удобрення у дозі $N_{60}P_{60}K_{90}$. У цьому разі частка першого укосу була найменшою, а третього – найбільшою. Нерівномірність розподілу урожаю за укосами у цьому разі була найменшою з коефіцієнтом варіації за безпокровної сівби 30%, а за сівби під покрив ячменю ярого – 39% з коефіцієнтом варіації на інших варіантах відповідно 33–39% і 44–47%.

Висновки

У середньому за перші три роки життя і користування конюшина лучна забезпечує продуктивність за виходом з 1 га сухої маси 8,22–9,88 т, яка мало залежить від способів сівби. За інокуляції насіння бульбочковими бактеріями у поєднанні з внесенням $N_{60}P_{60}K_{90}$ у порівнянні з варіантом без добрив продуктивність підвищується на 8–12%, а за роздільного застосування добрив ($P_{60}K_{90}$ або $N_{60}P_{60}K_{90}$) або інокуляції насіння на фоні без добрив – лише на 4–6%. Поміж добрив найбільшу окупність 1 кг добрив (6–7 кг сухої маси) забезпечує внесення N_{60} на фоні $P_{60}K_{90}$.

На першому році на 22–25% вищу продуктивність забезпечує сівба під покрив ячменю ярого, а на другому і третьому роках на 7–10% – безпокровна сівба. Найпродуктивнішим є сорт Тайфун, який на 0,10–0,66 т/га сухої маси переважає сорти Либідь та Тіна. Найвпливовішим за виходом з 1 га сухої маси є фактор удобрення, а в перший рік – спосіб сівби з дольовою часткою 55%.

Конюшина лучна щорічно забезпечує одержання трьох укосів кормової біомаси з часткою першого укосу 44–50%, другого – 32–34% і третього – 18–24% та нерівномірністю розподілу урожаю за укосами 30–47%.

Література

1. Стоцька С. В. Формування кормової продуктивності конюшини лучної залежно від елементів технології вирощування в умовах Полісся центрального. Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.12. Вінниця, 211. 20 с.



2. Стоцька С. В. Концентрація хлорофілу в листках рослин конюшини лучної залежно від впливу агротехнічних прийомів вирощування. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету, 2017. № 2(1). С. 72–77.

3. Демидась Г. І., Галушко І. В. Мінеральний склад кормової маси різних сортів конюшини лучної залежно від елементів технології вирощування. Корми і кормовиробництво, 2020. № 89. С. 151–160.
<https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-15>.

4. Wiersma D. W., Smith R. R., Mylnarek M. J. et. al. (1998). Harvest management effects on red clover forage yield, quality and persistence. J. Prod. Agric. Vol.11. P. 309–313.

5. Hannaway D. B., Brewer L. J., Ates S. et. al. (2018). Fatch clover: optimal selection of clover species. Sustainable meat and milk production from grasslands: Proceedings of the 27th General fteeting of the European Grassland Federation. Cork, Ireland. 17–21 June, 2018. P. 218–220.

6. Кургак В. Г. Лучні агрофітоценози. Київ: ДІА, 2010. 374 с.

7. Petrychenko V., Bohovin A. and Kurhak V. (2012). More efficient use of grassland under climate warming. Grassland – a European Resource: Proceedings of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation. Lublin, Poland. 3–7 June 2012. P. 151–153.

8. Петриченко В. Ф., Кургак В. Г. Культурні сіножаті та пасовища України. Київ: Аграрна наука, 2013. 432 с.

9. Кургак В. Г., Карбівська У. М. Особливості формування бобово-злакових агрофітоценозів на дерново-підзолистих ґрунтах Прикарпаття України. Корми і кормовиробництво, 2020. № 89. С. 121–133.
<https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-12>.

10. Карбівська У. М. Накопичення кореневої маси бобових трав та її вплив на поживний режим дерново-підзолистого ґрунту. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво, 2020. Вип. 67 (І). С. 84–97.
[https://www.doi.org/10.32636/01308521.2020-\(67\)-1-6](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2020-(67)-1-6).

11. Gayraud P. (1986). Perennie de la Luzerne. Cultivar. 1986. №196. P.22–23.

12. Hamacher M., Loges R. and Taube F. (2016). Evaluation of fifteen leguminous and non-leguminous forage species to improve forage quality of temporary grasslands in northern Germany. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy: Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. 4–8 September. P. 263–265.

13. Hynes D., Laidlaw S. and Ferris C. (2018). Effect of management strategy on wilting of monocultures and mixture of red clover and perennial ryegrass // Sustainable meat and milk production from grasslands: Proceedings of the 27th General Fteeting of the European Grassland Federation. Cork, Ireland. 17–21 June. P. 249–251.

14. Кургак В. Г., Волошин В. М. Вплив удобрення та режимів використання на продуктивність різнотипних лучних травостоїв. Збірник наукових праць Національного центру «Інститут землеробства НААН». Київ,



2016. Вип. 3–4. С. 166–178

15. Laidlaw A. S. (1982). Production and management of red clover swards. Legumes in Grassland. Ed. R. B. Murray. P. 47–50.

16. Larson W. M. (1982). Spredor 2 alfalfa, a new pasture legume. Forage and Grassland Conference. Minnesota. Februar, 21–24. P. 58–60.

17. Damborg V.K., Stødkilde L., Jensen S.K. and Weisbjerg M.R. (2016). Characterisation of protein and fibre in pulp after biorefining of red clover and perennial ryegrass. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy: Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. 4–8 September. P. 366–371.

18. Peyraud J.L. and Peeters A. (2016). The role of grassland based production system in the protein security. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy: Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. 4–8 September. P. 29–43.

19. Wallenhammar A.C., Stoltz E., Omer Z. and Granstedt A. (2018). Production capacity of forage legumes and persistence to root rot in organic mixed swards. Sustainable meat and milk production from grasslands: Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation. Cork, Ireland. 17–21 June. P. 375–377.

20. Brauer, D., Ritchey, D., & Belesky, D. (2002). Effects of lime and calcium on root development and nodulation of clovers. Crop Science, 42, 1640–1646.

21. Nilsson-Linde N., Halling M.A. and Jansson J. (2016). Widening the harvest window with contrasting grass-clover mixtures. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy: Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. 4–8 September. P. 191–193.

22. Кургак В. Г., Волошин В. М. Підвищення ефективності використання багаторічних бобових трав на луках України. Посібник українського хлібороба «Біологізація землеробства»: Науково-практичний збірник. Київ, 2017. Т. 1. С. 288–291.

23. Волошин В. Н. Ботанический состав и продуктивность луговых травостоев на серых лесных почвах. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Горки, 2017. №1. С. 62–66.

24. Ковтун К. П., Векленко Ю. А., Ящук В. А. Формування фітоценозу та продуктивності еспарцето-злакових травосумішок залежно від способів сівби та просторового розміщення видів в умовах Лісостепу правобережного. Корми і кормовиробництво, 2020. № 89. С. 112–120.

<https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-11>.

25. Кутузова А. А. Научная основа использования биологического азота в луговомодстве. Вестн. с.-х. науки, 1986. № 4 (355). С. 106–112.

26. Миркин Б. М. Что такое растительные сообщества. М.: Наука, 1986. 164 с.

27. Боговін А. В., Макаренко П. С, Кургак В. Г. та ін. Довідник по сіножатях і пасовищах (за ред. А. В. Боговіна). Київ, 1990. 208 с.

28. Кургак В. Г., Товстошкур В. М. Продуктивність різнотипних травостоїв



за різних систем удобрення на суходолах Лівобережного Лісостепу // Міжвід. темат. н. зб. “Корми і кормовиробництво”. Вінниця, 2010. Вип. 66. С. 247–252.

29. Weib K. and Kalzendorf C. (2016). Effect of wilting and silage additives on silage quality of lucerne, red clover and legume-grass mixtures. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy. Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. 4–8 September. P. 170–172.

30. Кургак В. Г. Бобові трави для сіяних лучних травостоїв. Тваринництво України, 1995. № 10. С. 27–29.

31. Кургак В. Г., Лук'янець О. П. Вплив типу травостою, систем удобрення та використання на продуктивність суходільних лучних угідь північного Лісостепу України. Зб. наук. праць Вінницького ДАУ. Вінниця, 2004. Вип. 17. С. 9–15.

32. Кутузова А. А., Ахламова Н. М. Рекомендации по созданию и использованию бобово-злаковых пастбищ и сенокосов в центральных районах лесной зоны европейской части СССР. Москва, 1978. 25 с.

33. Karbivska U., Kurhak V., Gamayunova V., Butenko A. et. al. (2020). Productivity and quality of diverse ripe cereal grass fodder depending on the methods of soil cultivation. *Acta Agrobotanica*. Vol. 73. №3. P. 1–11. Doi: 10.5586/aa. 7334.

34. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Bogovin, A. V., Makarenko, P. S., Kurgak, V. G. et. al. (1990). Handbook of hayfields and pastures. Kiev, 208 p.

2. Brauer, D., Ritchey, D., & Belesky, D. (2002). Effects of lime and calcium on root development and nodulation of clovers. *Crop Science*, Iss. 42, p. 1640–1646.

3. Damborg, V., Stødtkilde L., Jensen S. and Weisbjerg M. (2016). Characterisation of protein and fibre in pulp after biorefining of red clover and perennial ryegrass. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy: Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. September, 4–8, p. 366–371.

4. Demidas, G. I., Galushko, I. V. (2020). Mineral composition of fodder mass of different varieties of meadow clover depending on the elements of cultivation technology. *Feed and feed production*, Iss. 89, p. 151–160. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-15>.

5. Gayraud, P. (1986). Perennie de la Luzerne. *Cultivar*, Iss. 196, p. 22–23.

6. Hamacher, M., Loges, R. and Taube, F. (2016). Evaluation of fifteen leguminous and non-leguminous forage species to improve forage quality of temporary grasslands in northern Germany. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy: Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway, September, 4–8, p. 263–265.

7. Hannaway, D. B., Brewer, L. J., Ates, S. et. al. (2018). Fatch clover: optimal selection of clover species. Sustainable meat and milk production from grasslands: Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation. Cork, Ireland. June, 17–21, p. 218–220.

8. Hynes, D., Laidlaw, S. and Ferris, C. (2018). Effect of management strategy on wilting of monocultures and mixture of red clover and perennial ryegrass. Sustainable meat and milk production from grasslands: Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation. Cork, Ireland. June, 17–21, p. 249–251.

9. Karbivska, U., Kurhak, V., Gamayunova, V., Butenko, A. et. al. (2020). Productivity and quality of diverse ripe cereal grass fodder depending on the methods of soil cultivation. *Acta*



Agrobotanica, Vol. 73(3), p. 1–11. DOI: 10.5586/aa.7334.

10. Karbivska, V. M. (2020). Accumulation of root mass of legumes and its influence on the nutrient regime of sod-podzolic soil. Foothill and mountain agriculture and animal husbandry, Iss. 67 (I). Pp. 84–97. [https://www.doi.org/10.32636/01308521.2020-\(67\)-1-6](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2020-(67)-1-6).

11. Kovtun, K. P., Veklenko, Yu. A., Yashchuk, V. A. (2020). Formation of phytocenosis and productivity of sainfoin-cereal grass mixtures depending on the methods of sowing and spatial distribution of species in the Forest-Steppe right bank. Feed and feed production, Iss. 89, p. 112–120. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-11>.

12. Kurgak, V. G. (1995). Legumes for sown meadow grasses. Livestock of Ukraine, Iss. 10, p. 27–29.

13. Kurgak, V. G. (2010). Meadow agrophytocenoses. Kyiv: ACTION, 374 p.

14. Kurgak, V. G., Karbivska, U. M. (2020). Features of formation of leguminous-cereal agrophytocenoses on sod-podzolic soils of Prykarpattia of Ukraine. Feed and feed production, Iss. 89, p. 121–133. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-12>.

15. Kurgak, V. G., Lukyanets, O. P. (2004). Influence of grassland type, fertilization systems and use on the productivity of dry meadow lands of the northern Forest-Steppe of Ukraine. Coll. Science. works of Vinnytsia State Agrarian University. Vinnytsia, Iss. 17, p. 9–15.

16. Kurgak, V. G., Tovstoshkur, V. M., (2010). Productivity of different types of grass stands under different fertilizer systems on the land of the Left-Bank Forest-Steppe. Interdepartmental. topic. "Feed and feed production". Vinnytsia, Iss. 66, p. 247–252.

17. Kurgak, V. G., Voloshin, V. M. (2016). Influence of fertilizers and modes of use on the productivity of different types of meadow grasses. Collection of scientific works of the National Center "Institute of Agriculture NAAS". Kiev, Iss. 3–4, p. 166–178.

18. Kurgak, V. G., Voloshin, V. M. (2017). Improving the efficiency of perennial legumes in the meadows of Ukraine. Handbook of Ukrainian farmers "Biologization of agriculture": Scientific and practical collection. Kiev, Vol. 1, p. 288–291.

19. Kutuzova, A. A. (1986). Scientific basis for the use of biological nitrogen in meadow farming. Bull. agricultural science, Iss. 4 (355), p. 106–112.

20. Kutuzova, A. A., Akhlamova, N. M. (1978). Recommendations for the creation and use of legume-cereal pastures and hayfields in the central regions of the forest zone of the European part of the USSR. Moscow. 25 s.

21. Laidlaw, A. S. (1982). Production and management of red clover swards. Legumes in Grassland. Ed. R. B. Murray, p. 47–50.

22. Larson, W. M. (1982). Spredor 2 alfalfa, a new pasture legume. Forage and Grassland Conference. Minnesota. Februar, 21–24, p. 58–60.

23. Mirkin B. M. (1986). What are plant communities. Moscow: Science, 164 p.

24. Nilsdotter-Linde, N., Halling, M. and Jansson J. (2016). Widening the harvest window with contrasting grass-clover mixtures. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy: Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. September, 4–8, p. 191–193.

25. Petrichenko VF, Kurgak VG (2013). Cultural hayfields and pastures of Ukraine. Kyiv: Agrarian Science. 432 s.

26. Petrychenko, V., Bohovin, A. and Kurhak, V. (2012). More efficient use of grassland under climate warming. Grassland – a European Resource: Proceedings of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation. Lublin, Poland, June, 3–7, p. 151–153.

27. Peyraud, J. and Peeters A. (2016). The role of grassland based production system in the protein security. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy: Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. September, 4–8, p. 29–43.

28. Stotska, S. V. (2011). Formation of forage productivity of meadow clover depending on elements of technology of cultivation in the conditions of Polissya central. Authors ref. dis. ... cand. agricultural science: 06.01.12. Vinnytsia, 20 p.



29. Stotska, S. V. (2017). The concentration of chlorophyll in the leaves of meadow clover plants depending on the influence of agronomic cultivation techniques. Bulletin of Zhytomyr National Agroecological University, № 2 (1), p. 72–77.
30. Voloshin, V. N. (2017). Botanical composition and productivity of meadow herbage on gray forest soils. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. Horky, Iss. 1, p. 62–66.
31. Wallenhammar, A., Stoltz E., Omer Z. and Granstedt A. (2018). Production capacity of forage legumes and persistence to root rot in organic mixed swards. Sustainable meat and milk production from grasslands: Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation. Cork, Ireland. June, 17–21, p. 375–377.
32. Weib, K. and Kalzendorf, C. (2016). Effect of wilting and silage additives on silage quality of lucerne, red clover and legume-grass mixtures. The multiple roles of grassland in the European bioeconomy. Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland Federation. Trondheim, Norway. September, 4–8, p. 170–172.
33. Wiersma, D. W., Smith, R. R., Mylnarek, M. J. et. al. (1998). Harvest management effects on red clover forage yield, quality and persistence. J. Prod. Agric, Iss. 11, p. 309–313.
34. Dospekhov B. A. (1985). Method of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed. Add. and revised. Moskov: Agropromizdat. 351 p.

Abstract. *The results of the research for 2018–2020 on the formation of fodder productivity of the yield of dry mass of different varieties of meadow clover from 1 ha depending on the methods of sowing on different backgrounds of fertilizer on typical low-humus chernozems of the Forest-Steppe of Ukraine were presented. On average, for the first three years of growth and use, meadow clover provided a productivity of yield of dry mass of 8.22–9.88 tons from 1 ha, which depended little on sowing methods. Productivity increased by 8–12 % when inoculating seed with nodule bacteria in combination with the application of $N_{60}P_{60}K_{90}$ in comparison with the variant without fertilizers and only by 4–6 % under separate application of fertilizers ($P_{60}K_{90}$ or $N_{60}P_{60}K_{90}$) or seeds inoculation on the background without fertilizers. The application of N_{60} on the background of $P_{60}K_{90}$ provided the highest payback of 1 kg of fertilizer (6–7 kg of dry mass) among fertilizers. In the first year, sowing under the cover of spring barley provided higher productivity by 22–25 %, and in the second and third years coverless sowing provided by 7–10 %. The most productive variety was Taifun, which was 0.10–0.66 t/ha of dry mass superior to Lybid and Tina varieties. The factor of fertilization was the most influential in yield of dry mass from 1 ha and the sowing method with a share proportion of 55 % in the first year. Meadow clover annually provided three mowing of fodder biomass with the share of the first mowing of 44–50 %, the second – 32–34 % and the third – 18–24 % and the uneven distribution of the yield by mowing by 30–47 %.*

Keywords: *seed inoculation, meadow clover, productivity, distribution of yield by mowing, variety, sowing method, dry mass, fertilizer.*



УДК 631.582.1:631.89:633.63

YIELD OF SUGAR BEET AND ITS QUALITY UNDER CONSTANT GROWING AND VARIOUS FERTILIZER SYSTEMS**УРОЖАЙНІСТЬ БУРЯКА ЦУКРОВОГО І ЇЇ ЯКІСТЬ ЗА БЕЗЗМІННОГО ВИРОЩУВАННЯ ТА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ****Olepir R.V. / Оленір Р.В.**

с.а.с / к.с-г.н.

ORCID: 0000-0002-0825-7914

*Poltava State Agrarian Akademi, Poltava, G. Skovoroda 1/3, 36003**Полтавська державна аграрна академія,**м. Полтава, Г. Сковороди 1/3, 36003***Hlushchenko L. D./Глущенко Л.Д.**

с.а.с / к.с-г.н.

Len O. I./Лень О.І.

с.а.с / к.с-г.н.

*Poltava State Agricultural Experimental Station named after Vavilov,
the Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production, NAAS of Ukraine**Poltava, Shvedska 86, 36014**Полтавська державна сільськогосподарська дослідна станція
імені М.І.Вавилова Інституту свинарства і агропромислового виробництва НААН України
м. Полтава, Шведська, 86, 36014*

Анотація. В роботі представлені результати проведених досліджень з беззмінного вирощування буряка цукрового. Відмічено, що найвищим показник продуктивності буряка цукрового спостерігали, незалежно від системи удобрення, у перший рік проведення досліджень, з наступним його пониженням, який змінювався у широких межах. Наведено результати кореляційного аналізу взаємозв'язків між урожайністю коренеплодів, температурою повітря і сумою опадів. Проведено аналіз величини (середньоарифметичні показники за весь час досліджень) вмісту цукру у коренеплодах буряка цукрового за беззмінного вирощування, який засвідчує його несталість.

Ключові слова: буряки цукрові, беззмінний посів, системи удобрення, погодні умови, урожайність, вміст цукру.

Вступ.

Формування сталих агросистем у землеробстві тісно пов'язано з оптимізацією структури сівозмін і системою удобрення та обробітку ґрунту. Аграрне виробництво, на даному історичному етапі, зосередилося на вирощуванні окремих економічно привабливих культур [1].

Все це привело до того, що останніми роками істотно звузилася спеціалізація господарств. Досвід ведення сільського господарства підприємствами передових країн світу, які спеціалізуються на виробництві лише рослинницької продукції, свідчить про те, що вони вирощують обмежену кількість культур за значної їх частки у структурі посівів, і, як правило, у сівозмінах із нетривалою ротацією. Наслідком такої трансформації стали системні зміни в структурі сівозмін, відмова від багаторічних трав, порушення малого біологічного колообігу речовин, що спричинило критично негативний баланс вуглецю і поживних речовин в агроєкосистемах [2].

Одним із джерел, на основі яких можуть вивчатися проблеми скорочених



сівозмін, є узагальнення результатів досліджень з беззмінними посівами сільськогосподарських культур, які проводяться у різних країнах світу, у тому числі і на теренах України [3].

Вперше вивчення основ за беззмінного посіву сільськогосподарських культур було започатковано у Ротамстеді (Англія), де у період з 1843 по 1856 роки було закладено серію стаціонарних дослідів з пшеницею озимою, травами, тощо.

Згодом у 1878 році у Галле (Німеччина) почали дослідження з беззмінним посівом жита та системами удобрення, а у 1884 році на Полтавському дослідному полі був закладений аналогічний експеримент тільки без удобрення цієї культури та захисту рослин від шкідників і хвороб [4].

Починаючи з 1912 року, дослідження з беззмінного вирощування різних сільськогосподарських культур проводяться у Тімірязівській сільськогосподарській академії та Миронівській дослідній станції, пізніше Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла [5].

Вченими-аграріями встановлено та надано інформацію про те, що рослини сільськогосподарських культур по-різному реагують на багаторічне вирощування їх на одному місці, і, як правило, продуктивність цих посівів є нижчою, ніж у сівозміні. Причини тут бувають різні, а саме – це і одностороннє виснаження ґрунту на поживні елементи та інтенсивне розмноження шкідників і хвороб, для яких створюються сприятливі умови. Крім того, за такого вирощування сільськогосподарських культур розвивається і посилюється у системі ґрунт – рослина вплив негативних біологічних (токсичні виділення рослин, накопичення фітопатогенних бактерій, грибів та інших шкідливих мікроорганізмів), хімічних і фізичних факторів, що спричиняє явище ґрунтовтоми і, як наслідок, все це приводить до зниження продуктивності рослин [6, 7].

Цей факт є ще одним із вагомих аргументів, який доводить, що за різних ґрунтово-кліматичних умов вивчення проблем у цих дослідках дає можливість визначити такі агротехнічні заходи (системи удобрення та захисту рослин від шкідників і хвороб та ін.), які будуть сприяти позитивному вирішенню деяких актуальних питань уже у короткотривалих сівозмінах.

В Україні одним з обмежувальних факторів високої продуктивності культури є недостатні запаси доступної вологи у ґрунті та їх не рівномірне і неоднакової кількості розподілення по роках як за вегетацію, так і у цілому за сільськогосподарський рік [8].

Основна частина.

Метою наших досліджень було визначити вплив довготривалої дії комплексу факторів (антропогенних, природних) на рівень продуктивності і якість коренеплодів буряка цукрового, вирощуваного на одному місці.

Дослідження проводили на дослідному полі Полтавської ДСГДС ім. М.І. Вавилова ІС і АПВ відповідно до прийнятих методик. Рік закладки дослідів з беззмінним посівом буряка цукрового – 1978 р.

Ґрунт – чорнозем типовий середньо гумусний важкосуглинковий на лесовій породі характеризується такими основними агрохімічними та



агрофізичними показниками: вміст гумусу – 4,9–5,2 %; азоту, що легко гідролізується (за Тюрніним та Коновою – 119,1–127,1 мг/кг; P_2O_5 в оцтовокислій витяжці (за Чириковим) – 100,0–131,0 мг/кг; обмінного калію (за Масловою) – 171,0–200,0 мг/кг ґрунту. Щільність ґрунту – 1,05–1,17 г/см³. Загальна шпаруватість – 55,5–59,8. Найменша польова вологоємність – 29,2–31,5 %. Повна вологоємність – 39,0 %.

Схема досліду: 1. – без добрив (контроль); 2,5 – NPK; 3, 4, – гній + NPK.

У досліді, у різні роки, висівалися сорти та гібриди буряка цукрового: Білоцерківський полігібрид, Веселоподолянський одностійний 29, Ялтушківський одностійний 45, Білоцерківський одностійний 45, Ворскла (F₁),

Погодні умови за час проведення досліду на протязі років спостереження суттєво різнилися між собою. Оподи розподілялись нерівномірно і, зокрема, мінімальна їх кількість за вегетаційний період цієї культури була у 1999 році – 141,8 мм, а за сільськогосподарський рік у 1992 році – 289,0 мм. Максимальними ці показники були у 1978 році і відповідно дорівнювали 543,9 і 766,3 мм. Із приведених даних можна констатувати, що в окремі роки за вегетаційний період цієї культури опадів випадало більше, ніж у інші за весь сільськогосподарський рік і це по-різному впливало на ефективність систем удобрення і, як наслідок, на ріст і розвиток рослин та урожайність.

Продуктивність буряка цукрового – показник динамічний. Але варто відмітити, що найвищу, незалежно від систем удобрення, спостерігали її у перший рік проведення досліджень, з наступним пониженням цього показника, який змінювався у широких межах.

Виходячи із отриманих даних (таблиця 1), середньоарифметичні показники низького рівня урожайності коренеплодів буряка цукрового за вирощування на одному місці (відповідної до схеми удобрення) були такими: 7,6; 15,7; 19,0; 14,4; 18,7 т/га, з вмістом цукру у коренеплодах: 15,3; 15,5; 15,0; 15,4; 15,6 % і такими погодними умовами (таблиця 2): температури повітря за вегетаційний період (1.05 – 1.10) та за сільськогосподарський рік у цілому – 18,8 і 8,7°C і кількістю опадів відповідно – 200,5 і 411,0 мм.

Помірний же рівень його продуктивності, за час проведення досліджень, і її якість та погодні умови, що склалися за ці періоди, відповідно становили: 21,6; 26,7; 33,1; 31,7; 32,2 т/га і 15,4; 15,2; 15,115,3 15,3 %, і 18,5 та 8,2°C, 287,9 та 624,2 мм.

За високого рівня урожайності цієї культури ці показники відповідно дорівнювали: 34,1; 41,1; 44,2; 45,3; 44,8 т/га і 15,9; 16,0; 15,5; 16,0; 15,5 % і 17,9 та 8,7°C і 416,2 та 568,5 мм.

Порівнюючи показники погодних умов, слід відмітити, що температура повітря за вегетацію буряка цукрового, як і у цілому за сільськогосподарський рік за низького рівня його урожайності відносно помірного була вищою відповідно на 0,3 і 0,5°C, а за високого на 0,9°C, тоді як за сільськогосподарський рік ці показники були на одному рівні (8,7°C). Відповідно опадів випало за вегетаційний період і сільськогосподарський рік менше на 87,4 і 213,2 мм та більше на 128,3 мм і менше на 55,7 мм.



Таблиця 1

Рівень продуктивності буряка цукрового за різних систем удобрення

Роки	Системи удобрення									
	урожайність, т/га					вміст цукру, %				
	без добрив (контроль)	N ₉₀ P ₁₁₀ K ₁₁₀	гній 20 т/га + N ₉₀ P ₁₁₀ K ₁₁₀	гній 20 т/га + N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀	без добрив (контроль)	N ₉₀ P ₁₁₀ K ₁₁₀	гній 20 т/га + N ₉₀ P ₁₁₀ K ₁₁₀	гній 20 т/га + N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₁₆₀ K ₁₆₀
Низький рівень										
1984	10,1	20,0	22,5	27,1	30,9	14,5	11,7	11,9	11,7	15,3
1992	5,6	7,2	8,6	8,6	10,0	14,6	16,1	16,8	16,8	16,7
1999	4,0	14,2	18,2	19,1	15,1	16,0	18,6	18,4	19,3	19,1
2005	13,6	19,4	21,9	16,0	19,0	16,5	14,5	13,5	14,3	12,3
2009	4,6	17,8	23,7	26,1	18,3	14,8	16,4	14,6	14,7	14,6
Середнє	7,6	15,7	19,0	14,4	18,7	15,3	15,5	15,0	15,4	15,6
Помірний рівень										
1979	22,1	24,2	31,8	31,0	29,3	15,6	16,4	15,6	16,4	14,8
1981	18,9	23,7	29,3	31,4	32,5	14,5	11,8	12,6	11,8	14,8
1989	21,7	27,7	35,8	34,8	38,0	16,2	15,6	16,6	16,6	15,4
1997	23,0	31,9	40,0	32,6	38,5	15,1	15,5	14,1	14,7	14,9
2011	22,2	26,1	28,4	28,8	22,5	15,8	16,8	16,4	17,0	16,4
Середнє	21,6	26,7	33,1	31,7	32,2	15,4	15,2	15,1	15,3	15,3
Високий рівень										
1978	39,9	40,9	44,8	51,6	45,7	15,4	16,2	15,0	16,2	14,3
1982	38,8	43,2	45,9	49,1	47,0	15,1	15,1	15,0	14,4	16,1
1983	32,2	40,4	42,8	38,5	44,1	17,8	17,2	17,7	16,9	17,6
1990	29,0	40,5	42,1	40,7	40,4	16,2	17,1	16,9	17,8	15,7
2007	30,7	40,7	45,6	46,7	46,6	15,2	16,2	15,0	14,5	13,6
Середнє	34,1	33,8	44,2	45,3	44,8	15,9	16,4	15,9	16,0	15,5

Авторська розробка

Таблиця 2

Погодні умови за різного рівня урожайності буряка цукрового

Рівень урожайності	Погодні умови			
	t повітря, °C		к-ть опадів, мм	
	за вегетацію (1.05.–1.10.)	за с.-г. рік	за вегетацію (1.05.–1.10.)	за с.-г. рік
Низький	18,8	8,7	200,5	411,0
Помірний	18,5	8,2	287,9	624,2
Високий	17,9	8,7	416,2	568,5

Авторська розробка

Проведений кореляційний аналіз урожайних даних за різних систем удобрення і їх взаємозв'язок з погодними умовами дав можливість встановити наступну залежність:



- урожайність коренеплодів буряка цукрового і середня температура повітря $^{\circ}\text{C}$ за вегетацію відповідали такій кореляційній залежності, відповідно до варіантів: -0,44; -0,40; -0,40; -0,37; -0,37; -0,42 – середня обернена і за сільськогосподарський рік у цілому: -0,21; -0,07; -0,11; -0,14; -0,16 – низька обернена.
- продуктивність і кількість опадів (мм) за вегетацію були у такій кореляційній залежності відповідно до варіантів: 0,76; 0,78; 0,77; 0,73; 0,78-висока пряма і за сільськогосподарський рік у цілому: 0,59; 0,50; 0,61; 0,61; 0,53 – середня пряма.

Аналіз величини (середньоарифметичні показники за весь час проведення досліджень) вмісту цукру у коренеплодах буряка цукрового за беззмінного вирощування показує його мінливість (таблиця 3).

За низького його рівня на неудобрених ділянках (контроль) середній вміст цукру у коренеплодах становив – 14,3 %. а на удобрених він був меншим, відповідно до систем удобрення, на -0,9; -1,0; -0,6; -0,5 %, за помірної та високої його концентрації цей показник знаходився у іншій інтерпретації: 16,1 %; +0,1; -0,4; 0,0; -0,5 % та 19,4 %; 0,0; -0,6; -0,2; +0,6 %, в абсолютних величинах.

Таблиця 3

Вміст цукру у буряках цукрових за беззмінного вирощування та його взаємозв'язок з погодними умовами

Показники		Система удобрення				
		без добрив (контроль)	$\text{N}_{90}\text{P}_{110}\text{K}_{110}$	гній 20 т/га + $\text{N}_{90}\text{P}_{110}\text{K}_{110}$	гній 20 т/га + $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{60}$	$\text{N}_{120}\text{P}_{160}\text{K}_{160}$
Низький рівень						
Вміст цукру, %		14,3	13,4	13,3	13,7	13,8
Середня t повітря, $^{\circ}\text{C}$	за вегетацію (1.05.–1.10.)	18,1	18,1	18,2	18,7	18,1
	за с.-г. рік	8,4	8,3	8,4	7,8	8,2
Кількість опадів, мм	за вегетацію (1.05.–1.10.)	232,6	314,4	304,6	295,0	322,1
	за с.-г. рік	544,1	563,8	551,9	544,0	606,8
Помірний рівень						
Вміст цукру, %		16,1	16,2	15,7	16,1	15,7
Середня t повітря, $^{\circ}\text{C}$	за вегетацію (1.05.–1.10.)	19,9	18,6	18,2	17,6	18,3
	за с.-г. рік	8,7	8,5	8,1	7,7	8,3
Кількість опадів, мм	за вегетацію (1.05.–1.10.)	279,4	318,5	299,5	307,0	271,3
	за с.-г. рік	499,0	573,5	566,8	579,9	430,8
Високий рівень						
Вміст цукру, %		19,4	19,4	18,8	19,2	20,0
Середня t повітря, $^{\circ}\text{C}$	за вегетацію (1.05.–1.10.)	17,5	18,2	18,1	18,7	18,1
	за с.-г. рік	8,0	8,1	7,9	8,5	7,9
Кількість опадів, мм	за вегетацію (1.05.–1.10.)	238,8	223,4	217,9	216,9	217,9
	за с.-г. рік	553,2	445,1	556,8	486,2	556,8

Авторська розробка

Проведений обробіток даних з вмісту вуглеводів у основній продукції і їх взаємозв'язок з системами удобрення та погодними умовами дав можливість



визначити наступне:

- величина вмісту цукру і середня температура повітря ($^{\circ}\text{C}$) за вегетацію буряка цукрового були, відповідно до варіантів, у такій кореляційній залежності: -0,00; -0,2; -0,03; -0,08; -0,03 – відсутня залежність і за сільськогосподарський рік у цілому: 0,06 – відсутня, 0,24; 0,28; 0,18 – пряма низька, -0,03 – відсутня.
- величина вмісту цукру та кількість опадів за вегетацію були, відповідно до систем удобрення, у такому взаємозв'язку: 0,30; 0,11 – низька пряма, 0,05; 0,03 – відсутня, -0,15 – низька обернена і за сільськогосподарський рік у цілому: -0,14 – низька обернена, -0,09 – відсутня, -0,27; -0,17 – низька обернена, -0,41 – середня обернена.

Також був проведений математичний обробіток даних взаємовідношення між продуктивнісп. буряка цукрового та вмістом цукру у коренеплодах за довготривалого беззмінного вирощування. Встановлено, відповідно до систем удобрення, низьку кореляційну залежність ($r = 0,28; 0,32; 0,29; 0,11; 0,19$).

Висновок.

Врожайність коренеплодів буряка цукрового по роках та їх якісні показники залежали як від природних факторів і, зокрема, температурного і водного режимів, так і антропогенних – системи удобрення, і окремо, від доз та співвідношення органічних і мінеральних добрив.

Література:

1. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України (зони зрошення і осушення) / За ред. М.І. Ромащенко, Ю.О. Тараріко. К.: Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2017. 696 с.
2. Минакова О.А., Громовик А.И., Александрова Л.В., Тамбовцева Л.В. Прогноз азотного и гумусного состояния чернозема выщелоченного в зерново-свекличном севообороте Лесостепи ЦЧР. *Сахарная свекла*. 2010. №1. С. 19–20.
3. Kohan, A., Hlushchenko, L., Hanhur, V., Samoylenko, O., Len, O., Olepir, R., Kalinichenko, S., & Kavalir, L. (2017). Unique experiment of global agriculture in the Poltava region – long-term winter rye cultivation. *Agricultural Science and Practice*, 4(1), 63–69. <https://doi.org/10.15407/agrisp4.01.063>.
4. Белявский Ю.В., Опара Н.Н. Бессменная розь 124 года на одном поле. *Зерно*. 2008. №4. С. 17–23.
5. Русинов В.І., Яблунівська М.П., Шевченко А.І. Урожайність провідних сільськогосподарських культур у сівозміні та беззмінного їх вирощування. *Наук.-техн. бюл. Миронівського інституту пшениці ім. В.М. Ремесла УААН*. К.: Аграрна наука. 2006. Вип.5.С. 220–226.
6. Гангур В.В., Кохан А.В., Глущенко Л.Д., Олєпір Р.В., Лень О.І. Вплив природних і антропогенних факторів на динаміку гумусу та продуктивність пшениці озимої за беззмінного вирощування. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 3. С.43–49. doi: 10.31210/visnyk2019.03.05
7. Кохан А.В. Глущенко Л.Д., Олєпір Р.В. Лень О.І., Самойленко О.А. Продуктивність різних сортів і гібридів кукурудзи за беззмінного їх вирощування. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 10.С. 18–23.



8. Єрмолаєв М.М. Шиліна Л.І., Літвінов Д.В. Водний режим чорнозему типового в короткоротаційних зернових сівозмінах. *Зб. наук. праць Ін-ту землеробства УААН*. 2002. Спецвипуск. С. 161–166.

References

1. Estimation and rational use of agro-resource potential of Ukraine (irrigation and drainage zones) / Edited by: M.I. Romashchenko, Yu.O. Tararico. K. : Nizhyn: Publisher PP Lysenko M.M., 2017. 696 p.
2. Minakova O.A., Gromovik A.I., Alexandrova L.V., Tambovtseva L.V. Forecast of the nitrogen and humus state of the leached chernozem in the grain-beet crop rotation of the Forest-Steppe of the Central Black Earth Region. *Sugar beet*. 2010. №1. P. 19–20.
3. Kohan A., Hlushchenko L., Hanhur V., Samoylenko O., Len O., Olepir R., Kalinichenko S., & Kavalir L. (2017). Unique experiment of global agriculture in the Poltava region – long-term winter rye cultivation. *Agricultural Science and Practice*, 4(1), 63–69. <https://doi.org/10.15407/agrisp4.01.063>.
4. Belyavsky Yu.V., Opara N.N. Permanent rye 124 years in one field. *Grain*. 2008. №4. P.17–23.
5. Rusinov V.I., Yablunivska M.P., Shevchenko A.I. Yields of leading crops in crop rotation and constant cultivation. *Scientific and technical byul. Myronivsky Wheat Institute named after V.M. Remesla NAAS*. K.: Agrarian science. 2006. №5. P.220–226.
6. Gangur V.V., Kokhan A.V., Glushchenko L.D., Olepir R.V., Len O.I. Influence of natural and anthropogenic factors on the dynamics of humus and productivity of winter wheat with constant cultivation. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*. 2019. № 3. P.43–49. doi: 10.31210 / visnyk2019.03.05.
7. Kohan A.V. Glushchenko L.D., Olepir R.V., Len O.I., Samoylenko O.A. Productivity of different varieties and hybrids of corn with their constant cultivation. *Bulletin of Agricultural Science*. 2019. № 10. P.18–23.
8. Yermolaev M.M. Shilina L.I., Litvinov D.V. Water regime of typical chernozem in short-rotation grain crop rotations. *Collection of scientific works of the Institute of Agriculture of UAAS*. 2002. Special issue. P.161–166.

Abstract. The paper presents the results of research on the continuous cultivation of sugar beet. It is noted that the highest rate of productivity of sugar beet was observed, regardless of the fertilizer system, in the first year of the study, followed by its decrease, which varied widely. The results of correlation analysis of the relationship between root yield, air temperature and precipitation are presented. An analysis of the value (arithmetic mean for the entire period of research) of the sugar content in the roots of sugar beet under constant cultivation, which indicates its instability.

Key words: sugar beets, constant sowing, fertilizer systems, weather conditions, yield, sugar content.

Стаття відправлена: 3.06.2021р.

© Олєпір Р.В., Глушченко Л.Д., Ленє О.І.



UDC 631.11 / 14 «324»: 632.938: 631.53.04

STEM DENSITY OF WINTER INTERMEDIATE CROPS DEPENDING ON WEATHER CONDITIONS AND TECHNOLOGICAL TECHNIQUES OF GROWING IN THE AUTUMN PERIOD**ЩІЛЬНІСТЬ СТЕБЛОСТОЮ ОЗИМИХ ПРОМІЖНИХ КУЛЬТУР ЗАЛЕЖНО ВІД ПОГОДНИХ УМОВ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВИРОЩУВАННЯ В ОСІННІЙ ПЕРІОД****Svystunova I. / Свистунова І.***PhD/к. с.-г. н., доц.***Baranovskiy O. / Барановський О.***Student/ студент**National university of life and environmental sciences of Ukraine, Kyiv***Poltoretskyi S. / Полторецький С.***d. a. s., professor/ д. с.-г. н., професор**Uman national university of horticulture, Uman, Ukraine***Bozhok Yu. / Божок Ю.***Researcher/ н. с.,**Ukrainian Institute for Plant Varieties Examination, Kiev*

Annotation. This article presents the results of research on the study of the influence of technological methods of cultivation and hydrothermal resources on the formation of stem density of winter cereals intermediate crops. It is established that the most appropriate is sowing of culture in the period from 5 to 15 September.

Key words: triticale, rye, wheat, sowing period, variety, hydro-rothermic resources, tillering, stem density.

Introduction. The use of winter triticale in the spring link of the green conveyor allows to provide animals with high-quality green fodder in the period between the mowing of winter rye and the first mowing of perennial grasses. The culture is actively increasing the green mass, primarily due to good foliage and high photosynthetic potential. It is also valuable that triticale plants retain their green color longer during the growing season, and therefore, depending on the variety, the animals eat them well for 12-20 days. Today there is a sufficient set of varieties of triticale, different in intensity of green mass formation, which allows to exclude from the use of winter wheat crops for green fodder and even free part of the area of crops of perennial grasses of the first mowing for hay for the winter stall. Today, it is also important to determine the role of agronomic measures in weakening the negative impact of climate change in recent decades on plant productivity [2].

One of the most important conditions that determines the productivity of crops, regardless of their purpose, is the optimal density of plants. Liquefied stems exclude the possibility of high yields, has bad influence on overwintering of winter plants; too dense - increases the risk of plant diseases and pests. Stem density is determined by field germination, productive cultivation of plants, preservation of their cultivated vegetations and is one of several assessments of the state of winter crops at the time of completion of the first cycle of development [1, 3].

The purpose of the research is to establish the influence of weather conditions and technological measures of cultivation on the stem density of winter intermediate



crops before the cessation of autumn vegetation in the Forest-Steppe conditions of the right-bank Ukraine.

Materials and methods of research. Field experiments were conducted at the Agronomic Research Station of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine on chernozems of typical low-humus medium loam.

Object of research: wheat Polesskaya 90 (control), rye Kyiv fodder (control) and varieties of triticale (AD 3/5, AD 44, ADM 9, Polisky 29, ADM 11, AD 52), sown in five calendar terms: August 25, September 5, 15, 25 and October 5. Predecessor - corn in silage.

Research results and their discussion. According to a number of authors the optimal development of plants in the autumn and their resistance to adverse winter conditions is provided when from sowing to the transition of the average daily temperature through 5 °C is 50-70 days. During this period, the plants accumulate the sum of effective temperatures (≥ 50 °C) about 450-580 °C, during the period of germination-termination of autumn vegetation - 400-500 °C, which causes, with sufficient moisture, the formation of the optimal number of shoots (2-4). However, there is no consensus on the optimal parameters of plant development at the end of the growing season, which is due to the zonal growing conditions and varietal characteristics of the culture [3].

In the experimental field, the range of these abiotic factors was formed during sowing on September 15. At the same time, the period of sowing-termination of autumn vegetation averaged 53,3 days, during which crops accumulated 452 °C effective temperatures, which is 2,2 times more than during this time accumulate October crops and 1,7 times less than in August (table 1).

1. Hydrothermal supply of winter triticale crops for the period sowing-termination of autumn vegetation depending on the sowing date

Indicator	Sowing period				
	25.08.	5.09.	15.09.	25.09.	05.10.
Average daily air temperature, °C	10,9	9,6	9,0	7,8	6,9
The sum of average daily temperatures, °C	810	609	483	343	234
The sum of temperatures ≥ 5 °C / number, days	779	578	452	312	203
	64,7	53,7	43,7	33,7	23,7
The sum of temperatures ≥ 10 °C / number, days	579	378	275	148	71
	40,0	29,0	21,7	12,3	7,0
The amount of precipitation, mm	95,0	93,3	69,2	46,1	27,6

In general, depending on the sowing period, the period from sowing to the termination of autumn vegetation was 33,3-74,3 days, from germination to the cessation of autumn vegetation – 10,7-64,0 days with significant variation over the years of research.

It is noted that the average daily temperature of the period of germination-termination of autumn vegetation for the same sowing dates in different years of research almost didn't change. The difference in sowing dates was also insignificant according to this parameter – 9,7-5,8 °C. More significant is the difference in the sum of temperatures. On average, during the period of germination-termination of autumn vegetation, August sowing, compared to October, were 5,8 times more provided with



the amounts of average daily, 6,6 times effective and 12,5 times - active temperatures. A similar pattern was observed for rye and wheat.

One of the main components of crop productivity is the density of stems before the termination of autumn vegetation, which is largely determined by the degree of tillering of plants - a parameter that significantly determines the viability of the plant and its overwintering and is, in fact, a reflection of the meteorological complex, agronomic and soil conditions during the autumn period.

It was investigated that the most favorable conditions for the formation of the optimal number of shoots were formed on average during sowing on September 15-25 (table 2).

2. Tillering of winter triticale plants before the termination of autumn vegetation depending on the sowing date and variety, pcs/plant

Culture, variety	Sowing period				
	25.08.	5.09.	15.09.	25.09.	05.10.
Rye (control)	7,3	6,3	4,5	2,6	1,5
Wheat (control)	6,1	5,1	3,5	2,0	1,3
AD 3/5	5,7	4,6	3,1	1,8	1,1
AD 44	5,8	4,9	3,3	2,0	1,2
ADM 9	7,1	5,9	4,0	2,3	1,3
Polisky 29	6,1	5,0	3,7	2,1	1,3
ADM 11	6,8	5,5	3,7	2,1	1,2
AD 52	6,7	5,5	4,0	2,3	1,4

The most favorable conditions for the formation of the optimal number of shoots were on average for sowing on September 5-25. At the same time, the degree of plant development of the same sowing dates in different vegetation years varied significantly, which was due to different hydrothermal resources during the autumn. It is noted that with the reduction of vegetation duration the shoot-forming ability of all crops decreases - in rye from 7,3 to 1,5, in wheat - from 6,0 to 1.3 shoots / plant; triticale according to this indicator, in terms of varieties, situated in an intermediate position - the coefficient of its tillering ranged from 7,1-5,7 (August 25) to 1,4-1,1 (October 5).

The optimal number – 2,8-5,5 non-overgrown shoots on triticale plants was formed when they accumulated 312,1-460,5 °C of the sum of average daily and 278,0-426,4 °C effective air temperatures. Under such thermal conditions, the active vegetation of crops from the germination phase to the termination of autumn vegetation lasted on average 39–54 days at an average daily air temperature of 8,0-8,7 °C.

The most intensive autumn tillering was marked ADM 9. Sufficient for the formation of 2,0-4,9 shoots / plants of ADM 9, is the sum of average daily temperatures at 211,9-427,2 °C, effective – 187,6-402,9 °C with the duration of the period of germination-termination of autumn vegetation 28-49 days. Higher values of the sums of positive temperatures caused the plants to overgrow.

Polisky 29 variety was characterized by the highest plasticity before sowing dates (August 25-October 5), as the formation of the optimal number of shoots – 1,9-5,2 took place over a wide range of accumulated average daily amounts (211,9-538,0°C). and effective – 187,6-510,1 °C temperatures. Variety AD 52 sufficient for the formation of 2.1-5.5 shoots is the sum of average daily temperatures at the level of 211,9-460,5 °C and effective – 187,6-426,4 °C.



Among the studied cultivars, the least plastic in terms of tillering intensity was the cultivar ADM 11, which formed 1,9-5,5 shoots only under the condition of accumulation of 223,5-460,5 °C of the sum of average daily and 195,6-426,4 °C of effective air temperatures during the period of the emergence- period of autumn vegetation 36-54 days. The specified range of required temperatures characterizes the specified variety as unsuitable for sowing in the late calendar period.

Before the onset of winter, the density of stems in crops decreased from the first to the fifth sowing period, respectively from 2234-2745 to 445-544 shoots / m² depending on the variety (table 3).

3. Density of winter triticale stalks at the time of termination of autumn vegetation depending on the sowing date and variety, pcs / m²

Culture, variety	Sowing period				
	25.08.	5.09.	15.09.	25.09.	5.10.
Rye	3005	2910	2110	1150	633
Wheat	2358	2200	1548	847	497
AD 3/5	2234	1976	1427	785	445
AD 44	2241	2078	1519	829	479
ADM 9	2673	2481	1799	966	513
Polisky 29	2423	2244	1708	897	539
ADM 11	2745	2493	1769	887	488
AD 52	2605	2389	1842	943	544

In terms of the studied varieties due to intensive tillering high density of stems for almost all sowing dates formed the variety ADM 9 - 2673-513 shoots / m², in contrast to which AD 3/5 was characterized by the least powerful stem - 2234-445 shoots / m² depending on the sowing date. Varieties AD 52 and Polisky 29 predominate in stem density at sowing after September 15; AD 11, on the contrary - until September 15 inclusive.

Conclusions. Thus, the density of stems is such an element of productivity, which can be regulated by agronomic measures, including sowing dates and varietal composition. The most expedient is the sowing of winter triticale from 5 to 15 September.

Literature:

1. Bayer J., Bures R., Tsoufal V., Fabry A. and others. Weather and harvest M.: Agropromizdat, 1990. S. 332.
2. Bilytyuk A.P., Girko V.S., Kalenskaya S.M. Triticale in Ukraine: monograph. Kiev, 2004. 376 p
3. Moiseychik V.A. Agrometeorological conditions and overwintering of winter crops. L.: Hydrometeoizdat, 1975. 295 p.

Анотація. В даній статті викладені результати досліджень щодо вивчення впливу технологічних прийомів вирощування та гідротермічних ресурсів на формування щільності стеблостою злакових озимих проміжних культур. Встановлено, що найбільш доцільним є сівба культури в період з 5 до 15 вересня.

Ключові слова: тритикале, жито, пшениця, строк сівби, сорт, гідротермічні ресурси, куцистість, щільність стеблостою.

© Svystunova I., Baranivskiy O., Poltoretskyi S., Bozhok Yu.



Expert-Peer Review Board of the journal

Abdulveleeva 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
 Pyzhanova 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
 Shehmirezova Andzhela Muharbievna, Adygea State University, Russia
 Shpinkovskij Aleksandr Anatolevich, Odessa National Polytechnic University, Ukraine



СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

Инновационная техника, технологии и промышленность*Innovative engineering, technology and industry**Інноваційна техніка, технології і промисловість*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-007>

7

**ANALYTICAL DESCRIPTION of PROCESS of VIBRO MAGNETIC
ABRASIVE TREATMENT of OVER HARD CERAMICS***АНАЛІТИЧНА ХАРКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ВІБРО-МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ
ОБРОБКИ НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ**Burlakov V.I./Бурлаков В. І., Burlakova N.Ya./Бурлакова Г. Ю.**Kudinova K.V./Кудінова К.В.*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-010>

14

**OPTIMIZATION OF PLASMOTRON COOLING SYSTEM FOR SURFACE
MODIFICATION AND NANOSTRUCTURING***ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ПЛАЗМОТРОНУ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОЇ
МОДИФІКАЦІЇ І НАНОСТРУКТУРУВАННЯ**Mazur V. / Мазур В.А.*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-011>

20

**ANALYSIS OF THE MARKET OF PRODUCTION OF FOOD POWDER
FROM VEGETABLE RAW MATERIALS***АНАЛІЗ РИНКУ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПОРОШКІВ З РОСЛИННОЇ
СИРОВИНИ**Burlaka T.V. / Бурлака Т.В.*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-018>

25

**MODELS AND METHODS FOR SEARCH MALWARE
ON THE FEDERATED MACHINE LEARNING ARCHITECTURE***МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПОШУКУ ШКІДЛИВИХ КОДІВ НА АРХІТЕКТУРІ
ФЕДЕРАТИВНОГО МАШИННОГО НАВЧАННЯ**Наханов В.І. / Хаханов В.І., Saprykin A.S. / Сапрукін А.С.*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-030>

39

**SIMULATION OF FREQUENCY CONTROLLED ELECTRIC DRIVE
OF TURBOMACHINE***МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОВОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТУРБОМАШИН**Kurliak P. O. / Курляк П.О.*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-034>

45

CYBER SOCIAL FEDERATED COMPUTING*КІБЕРСОЦІАЛЬНИЙ ФЕДЕРАТИВНИЙ КОМП'ЮТИНГ**Khakhanova H.V / Хаханова А.В.*

**Информатика, кибернетика и автоматика***Computer science, cybernetics and automatics**Інформатика, кібернетика та автоматика*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-017>

65

**ABOUT DEVELOPMENT OF A RECONFIGURABLE PARALLEL
SORTING SCHEME BY THE DATA SHUFFLING METHOD***О РАЗРАБОТКЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ СХЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ
МЕТОДОМ ТАСОВКИ ДАННЫХ**Paulin O. N. / Паулин О. Н., Stoljarchuk I.D. /Столярчук И. Д.***Физика и математика***Physics and mathematics**Фізика і математика*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-022>

71

**CELL CONDUCTIVITY AS A PROBABILITY PROCESS OF
MEMBRANE ELECTROPORATION***ПРОВОДИМОСТЬ КЛЕТКИ КАК ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПРОЦЕСС
ЭЛЕКТРОПОРАЦИИ МЕМБРАНЫ**Shigimaga V.A. / Шигимага В.А., Kosulina N.G. / Косулина Н.Г.**Chorna M.A / Черная М.А., Borodai I.I. / Бородай И.И.***Химия и фармацевтика***Chemistry and pharmaceuticals**Хімія і фармацевтика*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-021>

85

**ISOMORPHIC SUBSTITUTION OF A CATION IN MANGANESE (II)
HYDROGENPHOSPHATE***ІЗОМОРФНЕ ЗАМІЩЕННЯ КАТІОНУ В МАНГАН(ІІ) ГІДРОГЕНФОСФАТІ**Antrapteva N.M. / Антрапцева Н.М., Begal M.N. / Бегаль М.М., Bila G.N. / Біла Г.М.*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-023>

90

**DETERMINATION OF CAROTINOIDE CONTENT IN PLANT RAW
MATERIALS THYMUS VULGARIS L.***ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ КАРОТИНОЇДІВ У РОСЛИННІЙ СИРОВИНІ
THYMUS VULGARIS L.**Fukleva L.A. / Фуклева Л.А.*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-025>

94

**INVESTIGATION OF ASCORBIC ACID ACCUMULATION IN PLANT
RAW MATERIALS THYMUS TAURICUS KLOK. ET SHOST***ДОСЛІДЖЕННЯ НАКОПИЧЕННЯ АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ У РОСЛИННІЙ
СИРОВИНІ THYMUS TAURICUS KLOK. ET SHOST.**Fukleva L.A. / Фуклева Л.А.*

**Медицина и здравоохранение***Medicine and healthcare**Медицина і охорона здоров'я*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-001>

98

MOLECULAR ASPECTS OF BACTERIAL RESISTANCE TO ANTIBIOTICS*МОЛЕКУЛЯРНІ АСПЕКТИ ВИНИКНЕННЯ РЕЗИСТЕНТНОСТІ БАКТЕРІЙ ДО АНТИБІОТИКІВ**Polishchuk N.M. / Поліщук Н.М., Matylokok T.Yu. / Матильонок Т. Ю.**Kyryk D.L. / Кирик Д.Л., Alimenko Yu.L. / Аліменко Ю.Л.***Биология и экология***Biology and ecology**Біологія та екологія*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-006>

113

THE STRUCTURE OF ATPASE RAVA OF THORARCHAEOTA*СТРУКТУРА АТФАЗИ RAVA THORARCHAEOTA**Venger A. M. / Венгер А.М., Venger O.O. / Венгер О.О.**Kovalchuck L.I. / Ковальчук Л.І.*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-028>

117

NUTRITIONAL AND BIOLOGICAL VALUE OF CITRUS FRUITS*ХАРЧОВА І БІОЛОГІЧНА ЦІННІСТЬ ЦИТРУСОВИХ ФРУКТІВ**Voitsekhivskiy V. / Войцехівський В., Denisyuk V. / Денисюк В.**Berezhnyak E. / Бережнюк Є., Horbatiuk S. / Горбатюк С.**Sprut O. / Спрут О., Muliarchuk O. / Мулярчук О., Kopakh V. / Копах В.**Balitska L. / Балицька Л., Simonenko N. / Сімоненко Н.***Сельское, лесное, рыбное и водное хозяйство***Agriculture, forestry, fishery and water management**Сільське, лісове, рибне та водне господарство*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-002>

122

FODDER PRODUCTIVITY OF DIFFERENT VARIETIES OF MEADOW CLOVER DEPENDING ON THE ELEMENTS OF GROWING TECHNOLOGY*КОРМОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ РІЗНИХ СОРТІВ КОНЮШИНИ ЛУЧНОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ**Demydas H. / Демидась Г., Galushko I. / Галушко І.**Poltoretskyi S. / Полторецький С., Poltoretska N. / Полторецька Н.*<https://www.modscires.pro/index.php/msr/article/view/msr16-01-005>

137

YIELD OF SUGAR BEET AND ITS QUALITY UNDER CONSTANT GROWING AND VARIOUS FERTILIZER SYSTEMS*УРОЖАЙНІСТЬ БУРЯКА ЦУКРОВОГО І ЇЇ ЯКІСТЬ ЗА БЕЗЗМІННОГО ВИРОЩУВАННЯ ТА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ**Olepir R.V. / Оленір Р.В., Hlushchenko L. D./Глуценко Л.Д., Len O. I./Лень О.І.*



**STEM DENSITY OF WINTER INTERMEDIATE CROPS DEPENDING ON
WEATHER CONDITIONS AND TECHNOLOGICAL TECHNIQUES OF
GROWING IN THE AUTUMN PERIOD**

*ЩІЛЬНІСТЬ СТЕБЛОСТОЮ ОЗИМИХ ПРОМІЖНИХ КУЛЬТУР ЗАЛЕЖНО ВІД
ПОГОДНИХ УМОВ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВИРОЩУВАННЯ В ОСІННІЙ
ПЕРІОД*

Systunova I. / Свистунова І., Baranovskiy O. / Барановський О.

Poltoretskyi S. / Полторецький С., Vozhok Yu. / Божок Ю.



Scientific publication

International periodic scientific journal
**MODERN SCIENTIFIC
RESEARCHES**

Issue №16

Part 1

June 2021

Indexed in **INDEXCOPERNICUS**
(high impact-factor) **ICV: 100.00**

Development of the original layout - "Yolnat PE"
Articles published in the author's edition

Signed: 30.06.2021

Yolnat PE
220092, Minsk, ul. Beruta, d.3B, room 72, room 4a



www.modscires.pro

With the support of research project SWorld
www.sworld.education



ISSN 2523-4692



16001





www.modscires.pro

e-mail: editor@modscires.pro