

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

pISSN 2706-9052
eISSN 2706-851X



ПОДІЛЬСЬКИЙ ВІСНИК:

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО, ТЕХНІКА, ЕКОНОМІКА

Заснований у 2005 р.

Випуск 4 (41)



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

ПОДІЛЬСЬКИЙ ВІСНИК: СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО, ТЕХНІКА, ЕКОНОМІКА

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ, ТЕХНІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ І ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

Заснований у 2005 р.

Випуск 4 (41)
<https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-4>
Виходить двічі на рік

pISSN 2706-9052
eISSN 2706-851X

Засновник: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Головний редактор:

Іванишин В.В. – д-р. екон. наук, професор, академік НААН України, заслужений працівник сільського господарства України, ректор ЗВО «ПДУ» (Україна)

Виконавчий редактор:

Бялковська О.А. – д-р. екон. наук, професор, проректор ЗВО «ПДУ» (Україна)

Випусковий редактор:

Гораш К.В. – канд. пед. наук, доцент, ЗВО «ПДУ» (Україна)

Редакційна колегія:

сільськогосподарські науки:

Блащик Л. – д-р с.-г. наук, Інститут генетики рослин Польської академії наук (Польща),

Едіта Ющук-Куб'як – PhD, професор, Варшавський університет наук про життя – SGGW (Польща),

Павло Носаль – PhD, професор, Аграрний університет ім. Гугон Коллонтай у Кракові (Польща),

Чинчик О.С. – д-р с.-г. наук, професор, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Овчарук В.І. – д-р с.-г. наук, професор, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Ясінецька І.А. – д-р екон. наук, професор, проректор ЗВО «ПДУ» (Україна),

технічні науки:

Дуганець В.І. – канд. техн. наук, професор, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Михайлова Л.М. – канд. техн. наук, професор, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Марек Врубель – PhD, професор, Університет сільського господарства в Кракові (Польща),

Кшиштоф Мудрик – PhD, професор, Аграрний університет ім. Гугон Коллонтай у Кракові (Польща),

Мацей Тадеуш Кубонь – PhD, професор, Аграрний університет ім. Гугон Коллонтай у Кракові (Польща),

Шелудченко Л.С. – д-р техн. наук, доцент, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Славомір Курпаска – PhD, професор, Аграрний університет ім. Гугон Коллонтай у Кракові (Польща),

Грушецький С.М. – канд. техн. наук, доцент, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Дуганець В.І. – канд. техн. наук, доцент, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Гордєєв А.І. – д-р техн. наук, професор (Україна),

Диха О.В. – д-р техн. наук, професор (Україна),

Борак К.В. – д-р техн. наук, доцент (Україна)

економічні науки:

Гуменюк І.І. – канд. філол. наук, доцент, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Занета Сіманавічене – д-р екон. наук, професор, Університет Миколаша Ромеріса (Литва),

Корженівська Н.Л. – д-р екон. наук, професор, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Семенишена Н.В. – д-р. екон. наук, доцент, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Куцмус Н.М. – д-р екон. наук, доцент, Поліський національний університет (Україна),

Чикуркова А.Д. – д-р екон. наук, професор, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Рудик В.К. – д-р екон. наук, професор, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Цвігун І.А. – д-р екон. наук, професор, ЗВО «ПДУ» (Україна)

ветеринарні науки:

Горюк В.В. – канд. вет. наук, доцент, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Горюк Ю.В. – канд. вет. наук, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Кухтин М.Д. – д-р. вет. наук, професор, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна),

Левницька В.А. – д-р. вет. наук, доцент, ЗВО «ПДУ» (Україна),

Супрович Т.М. – д-р с.-г. наук, професор, ЗВО «ПДУ» (Україна)

Схвалено Вченою радою ЗВО «ПДУ» (протокол № 11 від 29.12.2023 р.)

Електронний науковий журнал включено до Переліку наукових фахових видань України Наказ МОН України від 02.07.2020 р. № 886 (додаток 4) та Наказ МОН України від 24.09.2020 р. № 1188 (додаток 5))

з сільськогосподарських (201 – Агронімія, 204 – Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва), технічних (133 – Галузеве машинобудування, 142 – Енергетичне машинобудування, 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, 275 – Транспортні технології), економічних (051 – Економіка, 071 – Облік і оподаткування, 072 – Фінанси, банківська справа та страхування, 073 – Менеджмент, 075 – Маркетинг) та ветеринарних (211 – Ветеринарна медицина) наук.

Електронний науковий журнал «Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка» індексується в міжнародних каталогах та наукометричних базах: IndexCopernicus (ICV 2020 – 85,31), Polish Scholarly Bibliography, Citefactor, ResearchBible, Google Scholar, MIAR (ICDS 1,3), General Impact Factor (GIF), Journal Factor, PBN.

Відповідальність за оригінальність (плагіат) тексту наукової статті, точність наведених фактів, цитат, статистичних даних, власних назв, географічних назв та інших відомостей, а також за те, що в матеріалах не містяться дані, що не підлягають відкритій публікації, несуть автори наукових праць. Точки зору авторів публікацій можуть не співпадати з точкою зору редколегії збірника.

© ЗВО «ПДУ», 2023

© Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка, 2023

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION «PODILLIA STATE UNIVERSITY»

pISSN 2706-9052
eISSN 2706-851X



PODILIAN BULLETIN:

AGRICULTURE, ENGINEERING, ECONOMICS

Founded in 2005

Issue 4 (41)



“Helvetica”
Publishing House
2023

PODILIAN BULLETIN: AGRICULTURE, ENGINEERING, ECONOMICS

AGRICULTURAL, TECHNICAL, ECONOMIC AND VETERINARY SCIENCES

Founded in 2005

Issue 4 (41)
<https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-4>
Periodicity: biannually

pISSN 2706-9052
eISSN 2706-851X

Founder: Higher Educational Institution «Podillia State University»

Editor-in-Chief:

Ivanyshyn V.V. – Doctor of Economics, Professor,
Honored Worker of Agriculture of Ukraine,
Rector of HEI «PSU» (Ukraine)

Executive editor:

Bialkowska O.A. – Doctor of Economics, Professor,
Vice-Chancellor of HEI «PSU» (Ukraine)

Publishing editor:

Horash K.V. – PhD in Pedagogy, Associate Professor, HEI «PSU» (Ukraine)

Editorial Board:

Agricultural sciences:

Blashchik Lidiia – Dr. Sc. in Agriculture, Prof., Institute of Plant Genetics Polish Academy of Sciences (Poland)

Edyta Juszczuk-Kubiak – PhD, Prof., Warsaw University of Life Sciences – SGGW (Poland)

Pavlo Nosal – PhD, Prof., Hugon Kollontai Agrarian University in Krakow (Poland)

Chynych O.S. – Dr. Sc. in Agriculture, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Ovcharuk V.I. – Dr. Sc. in Agriculture, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Yasinetska I.A. – Doctor of Economics, Prof., Vice-Chancellor of HEI «PSU» (Ukraine)

Technical sciences:

Duhanets V.I. – PhD in Engineering, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Slavomir Kurpaska – PhD, Prof., Hugon Kollontai Agrarian University in Krakow (Poland)

Mykhailova L.M. – PhD in Engineering, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Hrushetskyi S. – Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof., Corresponding Member of NAAS of Ukraine, HEI «PSU» (Ukraine)

Marek Vrubel – PhD, Prof., University of Agriculture in Krakow (Poland)

Duhanets V. – Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof., Head of the Department of Technical Service and General Technical Subjects, HEI «PSU» (Ukraine)

Kshyshtof Mudryk – PhD, Prof., Hugon Kollontai Agrarian University in Krakow (Poland)

Hordieiev A. – Doctor of Engineering, Prof., Prof. of the Department of Mechanical Engineering Technology, Khmelnytsky National University (Ukraine)

Matsei Tadeush Kubon – PhD, Prof., Hugon Kollontai Agrarian University in Krakow (Poland)

Dykha O. – Doctor of Engineering, Prof., Head of the department of tribology, automobiles and materials science, Khmelnytsky National University (Ukraine)

Sheludchenko L.S. – Doctor of Engineering, Assoc. Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Borak K. – Doctor of Engineering, Assoc. Prof., Deputy Director for Education, Zhytomyr Agrotechnical College (Ukraine)

Economic sciences:

Humeniuk I.I. – PhD in Philology, Assoc. Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Zaneta Simanavichene – Doctor of Economics, Prof., Mykolas Romeris University (Lithuania)

Korzhnevskaya N.L. – Doctor of Economics, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Semenyshena N.V. – Doctor of Economics, Assoc. Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Kutsmus N.M. – Doctor of Economics, Assoc. Prof., Polissia National University, (Ukraine)

Chykurkova A.D. – Doctor of Economics, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Rudyk V.K. – Doctor of Economics, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Tsvihun I.A. – Doctor of Economics, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Veterinary sciences:

Horiuk V.V. – PhD in Veterinary, Assoc. Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Levytska V.A. – Doctor of Veterinary, Assoc. Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Horiuk Yu.V. – PhD in Veterinary, HEI «PSU» (Ukraine)

Suprovych T.M. – Dr. Sc. in Agriculture, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Kukhtyn M.D. – Doctor of Veterinary, Prof., Ternopil Ivan Pulu National Technical University (Ukraine)

Recommended by Academic Council of HEI «PSU» (protocol № 11 from 29.12.2023)

The journal is included in the list of scientific professional editions of Ukraine (the Order of MES of Ukraine as of 02.07.2020 No. 886 (annex 4), the Order of MES of Ukraine as of 24.09.2020 No. 1188 (annex 5)) in Agricultural Sciences (201 – Agronomy, 204 – Technology of production and processing of livestock products), Technical Sciences (133 – Branch engineering, 142 – Power engineering, 152 – Metrology and information-measuring equipment, 275 – Transport technologies), Economic Sciences (051 – Economics, 071 – Accounting and Taxation, 072 – Finance, Banking and Insurance, 073 – Management, 075 – Marketing), Veterinary Sciences (211 – Veterinary medicine).

Electronic scientific journal «Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics» is indexed in international directories and scientometric databases: IndexCopernicus (ICV 2020 – 85,31), Polish Scholarly Bibliography, Citefactor, ResearchBible, Google Scholar, MIAR (ICDS 1,3), General Impact Factor (GIF), Journal Factor, PBN.

The authors of scientific papers are responsible for originality (plagiarism) of the article, the accuracy of facts, quotations, statistics, proper names, place names and other information, as well as the fact that the materials do not contain data that can't be published. The opinions of the authors of publications may not coincide with the views of the editorial board of the collection.

ЗМІСТ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

Mashchenko Yu. V., Sokolovska I. M. THE YIELD AND PRODUCTIVITY OF SUNFLOWER DEPEND ON ITS SHARE IN CROP ROTATION.....	7
Гавриленко В. С. БАЛАНС ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У ҐРУНТІ ПІД ПОСІВАМИ ЯЧМЕНЮ ГОЛОЗЕРНОГО ЯРОГО ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ	14
Дещенко О. С., Лихач А. В. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРУ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ НА ФІЗІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ КНУРІВ-ПЛІДНИКІВ	19
Коробань М. П., Лихач В. Я. ВІДГОДІВЕЛЬНІ ЯКОСТІ МОЛОДНЯКУ СВИНЕЙ СУЧАСНИХ ГЕНОТИПІВ ЗА РІЗНИХ ВАГОВИХ КОНДИЦІЙ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	26

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Горбачов П. Ф., Пронін С. В., Чижик В. М., Токмиленко Т. Т. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СМУГИ РУХУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ПРИ РУСІ БЕЗ ОБГОНІВ.....	33
Колодницька Р. В., Можаровський М. М., Шумляківський В. П. КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ НАТУРАЛЬНИХ ВОЛОКОН ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	41
Помазков М. В., Мнацаканян М. С., Маник І. С. МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ГУМАНІТАРНИХ ВАНТАЖІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ	46
Сучков Г. М., Мигущенко Р. П., Кошкарів Ю. Ю., Бойко В. М., Донченко А. В. СТАН РОЗВИТКУ ПОРТАТИВНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ, КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ФЕРОМАГНІТНИХ МЕТАЛОВИРОБІВ (ОГЛЯД).....	54
Чалий О. В. ВИМІРЮВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОСТОРОВИХ ПОВЕРХОНЬ НА КООРДИНАТНО ВИМІРЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ	62

МЕНЕДЖМЕНТ

Кравченко В. П. ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ НА РИНКУ ОБЛІГАЦІЙ ВНУТРІШНЬОЇ ДЕРЖАВНОЇ ПОЗИКИ	68
--	----

ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

Строїч В. В., Горюк Ю. В. АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ ДО АНТИБІОТИКІВ МІКРОБІОТИ ШКІРИ ЗДОРОВИХ СОБАК ТА ЗА ПОДЕРМІЇ	75
---	----

CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES

Mashchenko Yu. V., Sokolovska I. M. THE YIELD AND PRODUCTIVITY OF SUNFLOWER DEPEND ON ITS SHARE IN CROP ROTATION.....	7
Havrylenko V. S. THE BALANCE OF THE MAIN NUTRIENTS IN THE SOIL UNDER HULLESS SPRING BARLEY CROPS DEPENDING ON FERTILIZER	14
Deshchenko O. S., Lykhach A. V. INFLUENCE OF THE TEMPERATURE FACTOR IN DIFFERENT VENTILATION SYSTEMS ON THE PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF BOARS.....	19
Koroban M. P., Lykhach V. Ya. FATTENING QUALITIES OF YOUNG PIGS OF MODERN GENOTYPES AT DIFFERENT WEIGHT CONDITIONS UNDER INDUSTRIAL TECHNOLOGY	26

TECHNICAL SCIENCES

Horbachov P. F., Pronin S. V., Chyzhyk V. M., Tokmylenko T. T. RESEARCH OF THE TRAFFIC CAPACITY OF A HIGHWAY LANE WHEN DRIVING WITHOUT OVERTAKING.....	33
Kolodnytska R. V., Mozharovsky M. M., Shumliakivsky V. P. COMPOSITE MATERIALS BASED ON NATURAL FIBERS FOR ROAD TRANSPORT.....	41
Pomazkov M. V., Mnatsakanian M. S., Manyk I. S. MODELING OF INTELLIGENT ROUTES OF HUMANITARIAN CARGO TRANSPORTATION IN WARTIME CONDITIONS	46
Suchkov G. M., Mygushchenko R. P., Koshkarov Yu. Yu., Boiko V. M., Donchenko A. V. STATE OF DEVELOPMENT OF PROTABLE ELECTROMAGNETIC-ACOUSTIC TRANSDUCERS FOR MEASUREMENT, TESTING AND DIAGNOSTIC OF FERROMAGNETIC METAL PRODUCTS (OVERVIEW).....	54
Chalyi O. V. MEASUREMENT OF COMPLEX SPATIAL SURFACES ON A CO-ORDINATE MEASURING MACHINE.....	62

MANAGEMENT

Kravchenko V.P. FACTOR ANALYSIS OF THE DOMESTIC STATE LOAN BONDS MARKET	68
---	----

VETERINARY SCIENCES

Stroich V. V., Horiuk Yu. V. ANALYSIS OF SENSITIVITY TO ANTIBIOTICS OF SKIN MICROBIOTA OF HEALTHY DOGS AND THOSE WITH PYODERMA.....	75
--	----

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

УДК 631.582.5:631.8:633.854.78

Mashchenko Yu. V.

Ph.D.,

*Head of the Scientific and Technological Department for Soil Fertility Conservation,
Institute of Agriculture of the Steppe, National Academy of Agrarian Sciences
Kropyvnytskyi, Ukraine*

E-mail: mawenko2015@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7965-0193

Sokolovska I. M.

Ph.D.,

*Senior Lecturer at the Department of Crop Farming and Agroengineering,
Kherson State Agrarian and Economic University
Kropyvnytskyi, Ukraine*

E-mail: marketing-kiapv@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4256-8852

THE YIELD AND PRODUCTIVITY OF SUNFLOWER DEPEND ON ITS SHARE IN CROP ROTATION

Abstract

The importance of sunflower as the main oilseed crop, high economic efficiency, saturation of the agricultural market with high-quality seeds of modern hybrids resistant to adverse environmental conditions, diseases, and pests with high yield potential contribute to increasing the share of the crop in crop rotations. Despite many researchers not recommending returning sunflower to the crop rotation earlier than five to eight years, growing sunflower after sunflower is possible. One of the main conditions for obtaining a high yield in continuous sunflower crops is the nutrient background.

Research was conducted on alternating sunflower and maize for grain in a two-field crop rotation and for sunflower cultivation in monoculture under different fertilization systems in the fields of the Institute of Steppe Agriculture of the National Academy of Sciences.

Annual alternation in the crop rotation of sunflower and maize contributed to an increase in sunflower yield to 1.75 t/ha compared to its continuous cultivation, where the yield did not exceed 1.39 t/ha; the yield increase due to the crop rotation factor was 0.36 t/ha or 21.5%.

The fertilization system significantly affected the yield of sunflower. The highest yield was achieved with the organo-mineral fertilization system in a crop rotation with 50% saturation with sunflower at 2.33 t/ha. Moreover, the application of mineral fertilizers together with sunflower residues in monoculture neutralized the effect of the crop rotation factor and provided a seed yield at the level of crop rotation with alternating crops, 0.71 t/ha.

The highest yield increase was obtained with the mineral fertilization system, 0.51 t/ha or 36.7%; for the organo-mineral system, the yield increase was slightly lower at 0.46 t/ha or 27.4%.

Higher productivity was formed by sunflower crops in a crop rotation with 50% saturation with crops. The crop rotations factor ensured an increase in grain units, feed units, and digestible protein to 3.51 t/ha, 1.93 t/ha, and 0.66 t/ha, respectively; the yield increase compared to sunflower monoculture was 0.72 t/ha, 0.39 t/ha, and 0.14 t/ha.

The increase in sunflower productivity due to the fertilization system factor was even more significant, and under the organo-mineral system in a crop rotation with 50% saturation with sunflower, they were the highest at 4.67 t/ha of grain units, 2.57 t/ha of feed units, and 0.89 t/ha of digestible protein.

Key words: yield, productivity, crop rotation, saturation of crop rotation with sunflower, fertilization system.

Introduction. Crop rotation is an important component of the overall agricultural system. The rational alternation of crops in crop rotation reflects the organization of farming in the economy, the features of soil cultivation, the application of fertilizers, the selection of means to protect the soil from erosion, weed control, diseases, and pests [3, 9, 13].

The narrow specialization of most farms and the increased concentration of agricultural production necessitate changing the structure of sown areas, constantly improving and adjusting crop rotations, and enriching them with main and intermediate crops [4, 6].

The conditions of individual natural-climatic zones are quite different, so crop rotations should be developed for each of them, and even for each farm, taking into account its soil and climatic conditions. Crop rotation schemes also depend on the adopted structure of sown areas.

The high prices of sunflower seeds and relatively low costs compared to some other crops often encourage farmers to sow sunflower again on the same field. This means either increasing its share in crop rotation and sowing it for a second year in a row or growing it in monoculture, i.e., continuously [2, 11].

Despite many researchers not recommending returning sunflower to the crop rotation earlier than five to eight years, growing sunflower after sunflower is possible and can yield a high harvest. There are certain risks associated with implementing sunflower monoculture, such as an increase in disease development, an increase in the number of pests in the crop, intensified weed infestation, etc. However, a qualified field survey, the use of high-quality seed material of different hybrids resistant to existing crop diseases, a high-tech fertilization system, and quality soil treatment allow sunflower to be grown on the same field for several years [6, 7, 8, 10].

In recent years, humanity has faced a global problem of climate change. This problem is primarily accompanied by increased temperatures, which disrupt water circulation processes. As a result, drought is intensified in certain regions.

It is believed that sunflower is a crop that is best adapted to the conditions of various natural-climatic zones of Ukraine, including the conditions of the Steppe with insufficient precipitation. Sunflower has a deep root system that extends vertically to a depth of three meters and a large number of secondary roots, some of which are located parallel to the soil surface and others are buried parallel to the main root at a distance of 20–40 cm. This root structure allows the crop to withstand drought. These morphological features of sunflower also affect soil structure, aeration, nutrient movement, etc. [12, 15].

The yield of sunflower, like any agricultural crop, is influenced by a complex of natural and agrotechnical factors. Soil and climatic conditions play a leading role in this zone. The nutrient background is one of the determining factors in sunflower cultivation technology. Fertilizer application increases the content of plant-available mineral nutrients in the soil and thus changes the chemical composition, physical properties, and other characteristics of the soil. Improving mineral nutrition positively affects the process of photosynthesis, contributes to increased plant productivity, and improves seed quality [1, 5, 12, 14].

Thus, the importance of sunflower as the main oilseed crop, high economic efficiency, saturation of the agricultural market with high-quality seeds of modern hybrids resistant to adverse environmental conditions, diseases, and pests with high yield potential contribute to increasing the share of the crop in short crop rotations. However, agronomic techniques for growing in crop rotations with different levels of sunflower saturation in the conditions of the northern steppe of Ukraine are not sufficiently studied.

The aim of the research. To determine the level of yield and productivity of sunflower depending on crop rotation saturation and fertilization system. To establish the influence of crop rotation factor on sunflower productivity depending on fertilization.

The research objects were fertilization systems and crop rotation with 50% and 100% saturation of the crop.

Research methodology. The yield and productivity of sunflower were studied in a stationary experiment in different crop rotations in the fields of the agriculture laboratory of the Institute of Agriculture of the Steppe NAAS.

Factor A was short rotation grain-legume crop rotation with 50% saturation of sunflower and maize, and the variant of growing sunflower in monoculture. Factor B was fertilization systems, with options including control (without fertilizers), mineral fertilization system $N_{40}P_{40}K_{40}$, and organo-mineral system – $N_{40}P_{40}K_{40}$ + by-product of maize, or under continuous cultivation – sunflower. The plot area was 105.9 m², with three repetitions.

Sunflower was grown using generally accepted agrotechnology for the Northern Steppe zone, except for factors studied in the experiment. The hybrid sunflower LG 50510, recommended for the Forest-Steppe, Polissia, and the northern part of the Steppe zone of Ukraine, was used for sowing under classical technology. Field and laboratory research were conducted using field research methods and mathematical-statistical analysis.

The short meteorological characteristics of the research conditions varied significantly over the years, which had a significant impact on the level of yield and productivity indicators of sunflower. It was found that favorable conditions were in 2019 and 2021, providing sufficient moisture levels during the sunflower growing period. Unfavorable conditions were in 2022 and 2023, especially in the early stages of sunflower growth and development. 2021 was excessively wet, but despite the decrease in temperature caused by frequent rains during sunflower cultivation, a sufficiently high productivity level and yield of the studied crop were obtained.

However, despite weather conditions, the studied factors also had a significant impact. Therefore, the weather conditions in the years of research were not sufficiently favorable for obtaining high sunflower yield indicators, but

to a large extent, the fertilization system factor and the timing of sunflower return to the previous location mitigated the environmental conditions.

The presentation of the main material of the research. The development of plants and the formation of sunflower yield in 2019–2020 occurred under high average daily temperatures and insufficient moisture. In the conditions of 2019, the highest sunflower yield was in the crop rotation with 50% saturation, ranging from 2.28–3.22 t/ha. Precipitation in this year was uneven, but the maximum amount during seed filling contributed to the utilization of the plants' biological potential. The difference in yield indicators compared to sunflower monoculture was within 0.01–0.16 t/ha. The fertilization system had a greater impact on yield increase (+2.29 t/ha and +2.74 t/ha for mineral, and +0.59 t/ha and +0.35 t/ha for organo-mineral system) (Figure 1).

Particular attention is drawn to the sunflower yield indicators in 2020. Severe summer drought against average daily temperatures exceeding the norm by 4.0–4.5 °C did not allow most plants to pollinate, form full baskets, and seeds. For sunflower cultivation in monoculture, regardless of the fertilization system, the yield was at the level of 0.04 t/ha, while for 50% crop rotation saturation, this indicator ranged from 0.52–0.90 t/ha, with higher yields without fertilization.

The weather conditions were more favorable in 2021 (GTC 1.37, which is 0.37 higher than the norm). In this year, the crop rotation factor had a more significant impact on yield, and with 50% saturation of sunflower in the rotation, it was at the level of 2.20 t/ha. It should be noted that a greater yield increase in this rotation was obtained with the mineral fertilization system, +0.81 t/ha, whereas in monoculture, it was with the organo-mineral system, +0.70 t/ha.

The weather conditions during the research period in 2022 were not conducive to achieving high sunflower yields: a very wet and cold May, drought in July, and heavy rains in September. Sunflower yield in this year ranged from 1.40–2.13 t/ha, and it was only lower in 2020. The crop rotation factor did not significantly affect the yield indicators, with a difference of 0.06 t/ha, ranging from 1.40–1.46 t/ha. The highest sunflower yield was in the crop rotation with 50% saturation and fertilization: under the organo-mineral system – 2.13 t/ha, under the mineral system – 2.04 t/ha, with an increase of +0.67 t/ha and +0.58 t/ha compared to the variant without fertilizers, respectively.

The challenging conditions during the growth, development, and formation of generative organs of late-sown sunflower plants in 2023 had a negative impact on the level of sunflower yield. The highest yield in our research did not exceed 2.44 t/ha. It is worth noting that the yield increase due to the factors under study was consistent at 0.30 t/ha. Only the use of the organo-mineral fertilization system in the crop rotation with 50% sunflower saturation resulted in a yield increase of 0.58 t/ha.

Based on the results of five years of research on crop rotations with different levels of sunflower saturation, we have found that increasing the share of sunflower in their structure from 50% to 100% had a negative impact on yield. For instance, the average yield for sunflower monoculture was 1.39 t/ha. Introducing corn into the crop rotation contributed to an increase in sunflower yield to 1.75 t/ha, with a yield increase due to the crop rotation factor of 0.36 t/ha or 21.5%. According to our research, this difference was significant at $LSD_{05} = 0.18$ t/ha (Table 1).

The application of mineral fertilizers under continuous sunflower crops resulted in an increase in its yield level to 1.67 t/ha, +0.27 t/ha or 19.5% compared to the variant without fertilizers. Incorporating crop residues in combination with the use of mineral fertilizers contributed to a higher yield indicator in the crop rotation – 1.88 t/ha. Furthermore, due to the action of the organo-mineral fertilization system, the increase in sunflower seed yield was more significant, +0.48 t/ha or 29.1%.

It should be noted that the application of mineral fertilizers in combination with crop residues in the crop rotation with 100% sunflower saturation neutralized the influence of the crop rotation factor. The slightly higher indicator,

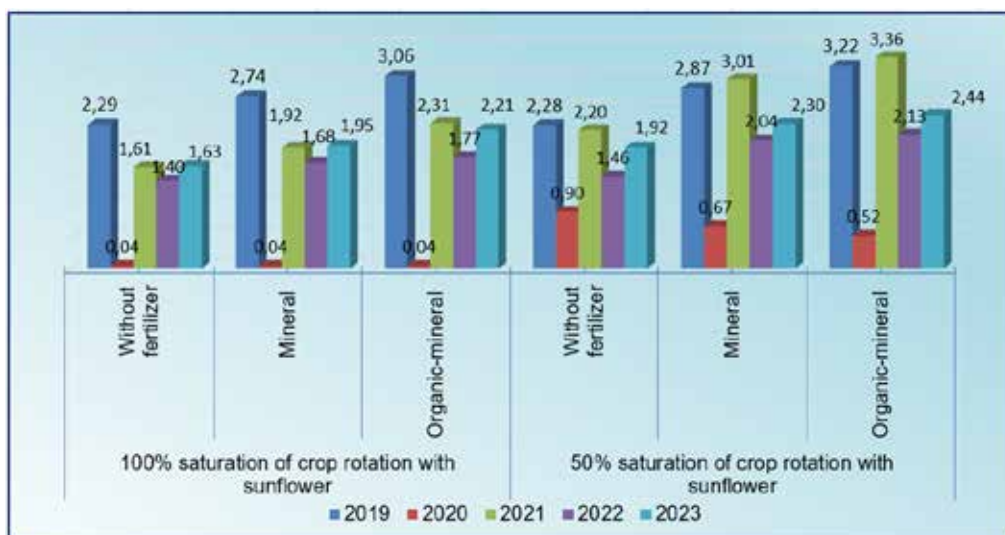


Fig. 1. Sunflower yield over the years of research, 2019–2023, t/ha

Table 1. Sunflower yield depending on its share in the crop rotation and fertilization system, t/ha

Share of sunflower in crop rotation structure, factor A	Fertilizer system, factor B	Average for 2019–2023	Difference factor A		Difference factor B	
			t/ha	%	t/ha	%
100%	Without fertilizer	1,39	–	–	–	–
	Mineral	1,67	–	–	0,27	19,5
	Organic-mineral	1,88	–	–	0,48	29,1
50%	Without fertilizer	1,75	0,36	21,5	–	–
	Mineral	2,18	0,51	36,7	0,43	24,3
	Organic-mineral	2,33	0,46	27,4	0,58	26,7
LSD ₀₅ : A=0,18; B=0,22; AB=0,31						

1.88 t/ha, compared to the crop rotation where sunflower made up 50% of the structure – 1.75 t/ha, was within a significant difference, meaning it was equal.

Fertilization systems had a more intensive effect on sunflower yield in crop rotations where the crop was grown a year after corn. The application of a mineral fertilization system ensured a sunflower yield of 2.18 t/ha, with a yield increase of 0.43 t/ha or 24.3%. Using an organo-mineral fertilization system resulted in the highest sunflower yield, 2.33 t/ha, but the intensity of the action of mineral fertilizers in combination with corn crop residues was slightly lower, +26.7% compared to the monoculture yield, +29.1%.

Taking into account the effect of two factors – the share of sunflower in the crop rotation and the fertilization system – the highest yield was obtained in the crop rotation with up to 50% saturation and the application of an organo-mineral fertilization system – 2.33 t/ha, but the largest yield increase was achieved by applying only mineral fertilizers, +0.51 t/ha or 36.7%. Although corn crop residues promoted the accumulation of more organic matter in sunflower seeds, they suppressed the action of mineral fertilizers.

The productivity of sunflower in terms of grain units, feed units, and digestible protein also depended on the share of sunflower in the crop rotation structure and the application of fertilizers, and there were some tendencies observed in their formation.

In our experiments, the yield grain units was lowest when grown as a monoculture, at 2.79 t/ha. Introducing corn into the crop rotation led to an increase in grain units content to 3.51 t/ha, with an increase due to the crop rotation factor amounting to 0.72 t/ha, according to LSD₀₅ = 0.36 t/ha (Table 2).

The mineral fertilization system, which was used for growing sunflower as a monoculture, had the least impact on the yield grain units. Although this indicator increased to 3.33 t/ha, the yield increase in grain units was the smallest – +0.55 t/ha or 19.6%.

The organo-mineral fertilization system provided higher yields grain units both in crop rotations with 100% crop saturation and 50% saturation. In monoculture, the grain unit yield from the crop was at the level of 3.76 t/ha, and when sunflower was grown on the same field after a year, it increased to 4.67 t/ha. However, the yield increase was greater than that of the mineral fertilization system, +1.02 t/ha or 36.7%.

The productivity of sunflower in terms of feed units averaged 1.53–2.57 t/ha over five years of research. The higher yield of feed units was observed in the crop rotation with 50% sunflower saturation. Additionally, the productivity of the crop increased by 0.4 t/ha solely due to the introduction of corn into the crop rotation. It should be noted that the application of an organo-mineral fertilization system in sunflower monoculture led to a feed unit yield of 2.07 t/ha, which is 0.14 t/ha higher than growing sunflower after corn without fertilizers. However, this difference was insignificant (Table 3).

Greater yield of feed units was observed in the crop rotation with 50% sunflower saturation and the organo-mineral fertilization system – 2.57 t/ha. The yield increase in this variant was 0.50 t/ha or 27.3%, while under the mineral fertilization system, it was the highest – +0.56 t/ha or 36.5%.

Our research showed a tendency for the formation of digestible protein in sunflower seeds. The highest his yield was in the crop rotation where sunflower comprised 50% of the structure. The crop rotation factor allowed an increase

Table 2. Yield grain units from sunflower harvest, t/ha

Share of sunflower in crop rotation structure, factor A	Fertilizer system, factor B	Average for 2019–2023	Difference factor A		Difference factor B	
			t/ha	%	t/ha	%
100%	Without fertilizer	2,79	–	–	–	–
	Mineral	3,33	–	–	0,55	19,6
	Organic-mineral	3,76	–	–	0,97	29,2
50%	Without fertilizer	3,51	0,72	21,6	–	–
	Mineral	4,35	1,02	36,7	0,85	24,2
	Organic-mineral	4,67	0,91	27,3	1,16	26,6
LSD ₀₅ : A=0,36; B=0,44; AB=0,62						

Table 3. Yield of feed units from sunflower harvest, t/ha

Share of sunflower in crop rotation structure, factor A	Fertilizer system, factor B	Average for 2019–2023	Difference factor A		Difference factor B	
			t/ha	%	t/ha	%
100%	Without fertilizer	1,53	–	–	–	–
	Mineral	1,83	–	–	0,30	19,6
	Organic-mineral	2,07	–	–	0,53	29,1
50%	Without fertilizer	1,93	0,39	21,5	–	–
	Mineral	2,39	0,56	36,5	0,47	24,2
	Organic-mineral	2,57	0,50	27,3	0,64	26,7
LSD ₀₅ : A=0,20; B=0,24; AB=0,34						

in this indicator by 0.14 t/ha or 21.5%, resulting in a yield of 0.66 t/ha of protein compared to monoculture, where the yield of digestible protein was 0.53 t/ha. The application of mineral fertilizers and their combination with organic residues under continuous sunflower cultivation led to an increase in protein yield to 0.63 t/ha and 0.71 t/ha, respectively. Moreover, the yield of digestible protein from the sunflower harvest in monoculture using the organo-mineral fertilization system and in the crop rotation with 50% crop saturation was within a significant difference (Table 4).

Table 4. Yield digestible protein from sunflower harvest, t/ha

Share of sunflower in crop rotation structure, factor A	Fertilizer system, factor B	Average for 2019–2023	Difference factor A		Difference factor B	
			t/ha	%	t/ha	%
100%	Without fertilizer	0,53	–	–	–	–
	Mineral	0,63	–	–	0,11	20,1
	Organic-mineral	0,71	–	–	0,18	29,0
50%	Without fertilizer	0,66	0,14	21,5	–	–
	Mineral	0,83	0,19	36,7	0,16	24,7
	Organic-mineral	0,89	0,18	27,8	0,22	27,1
LSD ₀₅ : A=0,07; B=0,08; AB=0,12						

The highest yield of digestible protein was with 50% sunflower saturation in the crop rotation and the organo-mineral fertilization system – 0.89 t/ha. However, as with previous productivity indicators, a more significant increase in protein was observed under the mineral fertilization system, +0.19 t/ha or 36.7%. The fertilization systems had a more active influence on increasing sunflower productivity regarding the yield of digestible protein in the crop rotation with 50% crop saturation.

Conclusions and prospects for further research. Thus, five years of research on crop rotations of different structures allow us to draw conclusions about the influence of crop rotation factors and fertilization systems on the yield and productivity of sunflower in the conditions of the northern Steppe of Ukraine.

The annual alternation in the crop rotation of sunflower and corn contributed to an increase in sunflower yield to 1.75 t/ha compared to its continuous cultivation, where the yield did not exceed 1.39 t/ha; the yield increase due to the crop rotation factor was 0.36 t/ha or 21.5%.

The factor that had a more significant impact on sunflower yield was the fertilization system. The highest yield was under the organo-mineral fertilization system with 50% sunflower saturation in the crop rotation – 2.33 t/ha. Moreover, the application of mineral fertilizers together with sunflower residues in monoculture neutralized the effect of the crop rotation factor and ensured a yield at the level of crop rotation with alternating crops, 0.71 t/ha.

The most significant yield increase was obtained under the mineral fertilization system, +0.51 t/ha or 36.7%, while under the organo-mineral system, the yield increase was slightly lower – by 0.46 t/ha or 27.4%.

Higher productivity was formed by sunflower plantings in the crop rotation with 50% crop saturation. The crop rotation factor resulted in increased yield grain units, feed units, and digestible protein to 3.51 t/ha, 1.93 t/ha, and 0.66 t/ha respectively; the yield increase compared to sunflower monoculture was 0.72 t/ha, 0.39 t/ha, and 0.14 t/ha.

The increase in sunflower productivity indicators due to the fertilization system factor was even more significant, and under the organo-mineral system with 50% sunflower saturation in the crop rotation, they were the highest: 4.67 t/ha of grain units, 2.57 t/ha of feed units, and 0.89 t/ha of digestible protein.

References

1. Almir Rogerio, E. de Souza *et al.* (2021). Production of Sunflower Oil in Response to Nitrogen Fertilization under Semiarid Conditions under Irrigation. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*. Int. J. Agric. Nat. Resour. 48(2):57-69. 2021. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v48i2.2114>
2. Debaeke, P. *et al.* (2017). Sunflower crop: environmental-friendly and agroecological. *OCL* 2017, 24 (3), D304. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017020>

3. Dehtiarova, Z. (2022). The effect of short-term crop rotation with different proportions of sunflower on cellulolytic activity of the soil. *Soil science annual*. 2022, 73 (4), 156097–156097. <https://doi.org/10.37501/soilsa/156097>
4. Dehtiarova, Z.O. (2023). Influence of short-term crop rotations with different proportions of sunflower on soil water regime. *Меліорація і водне господарство*, № 1. 94–101. <https://doi.org/10.31073/mivg202301-349>
5. Enielson Bezerra Soares *et al.* (2020). Sunflower performance as a function of phosphate fertilization in semiarid conditions. *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 42, 1807–8621. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42960>
6. Ieshchenko, V.O., Kopytko, P.H., & Karnaukh, O.B. (2020). Sivozminy v Lisostepu Ukrainy [Crop rotation in the forest-steppe of Ukraine]. (Yeshchenko, V.O. Eds.). Vinnytsia. 187 s. [in Ukrainian].
7. Kachanova, T., Manushkina, T., Petrova, O., & Shevchuk, N. (2023). Productivity of high-oleic sunflower when grown in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 27(1), 41–50. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/1.2023.41>
8. Kussul, N., Deininger, K., Shumilo, L., Lavreniuk, M., Ayalew, D. Ali, & Nivievskiy, O. (2022). Biophysical Impact of Sunflower Crop Rotation on Agricultural Fields Nataliia. *Sustainability*. 14, 3965. <https://doi.org/10.3390/su14073965>
9. Mashchenko, Yu.V., & Sokolovska, I.M. (2023). Produktivnist soi zalezno vid yii chastky v sivozmini ta systemy udobrennia v umovakh pivnichnoho Stepu. [Productivity of soybean depending on its share in crop rotation and fertilization system in the conditions of the northern Steppe]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. Vypusk 1 (38) Silskohospodarski nauky. 26–32. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.4>. [in Ukrainian].
10. Nesho Neshev. (2022). Comparison of crop rotation vs. monoculture: a sunflower case. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXV, No. 1, 2022. 455–460. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2022/issue_1/Art66.pdf
11. Robinson R.G., Smith L.J., Wiersma J.V. (1979). Sunflower monoculture and crop rotation. *Miscellaneous Report 166-1979*. Agricultural Experiment Station University of Minnesota. <https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/141182/MiscR166.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
12. Sokolovska Iryna, Maschenko Yuriy. (2023). Biotechnological methods of growing sunflower in different fertilizer systems. *Journal HELIA.*, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2023-11-22. T. 46. № 79. 233–243. <https://doi.org/10.1515/helia-2023-0011>
13. Tsentylo, L.V. (2019). Produktivnist sivozminy zalezno vid udobrennia i obrobitku gruntu. [Productivity of crop rotation depending on fertilization and tillage]. *Visnyk ahrarynoi nauky Prychornomia*. 3, 52–60. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-3\(103\)-7](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-3(103)-7) [in Ukrainian].
14. Tsybal, Ya.S., Boiko, P.I., Martyniuk, I.V., Kalchun, T.R., & Yakymenko, L.P. (2022). Produktivnist ta yakist nasinnia soniashnyku v iznorotatsiinykh sivozminakh lisostepu za orhano-mineralnoi systemy udobrennia. [Productivity and quality of sunflower seeds in different crop rotations of the forest-steppe under the organo-mineral fertilization system]. *Zemlerobstvo ta roslinnytstvo: teoriia i praktyka*. 2 (4), 19–25. <https://doi.org/10.54651/agri.2022.02.02>. [in Ukrainian].
15. Voitovyk, M., Butenko, Ye., Tkachenko, M., Mishchenko, Yu., Tsyuk, O., Obrazhyu, S., Panchenko, O., Martyniuk, I., Kondratiuk, I., & Kopylova, T. (2024). Assessment of the Effect of Sunflower Agroecosis on the Characteristics of the Structural and Aggregate Composition of Typical Black Soil. *Journal of Ecological Engineering* 2024, 25(1), 153–160. <https://doi.org/10.12911/22998993/174778>

Мащенко Ю. В.

кандидат сільськогосподарських наук,
завідувач науково-технологічним відділом збереження родючості ґрунтів
Інститут сільського господарства Степу НААН
Кропивницький, Україна
E-mail: mawenko2015@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7965-0193

Соколовська І. М.

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри рослинництва та агроінженерії
Херсонський державний аграрно-економічний університет
Кропивницький, Україна
E-mail: marketing-kiarv@ukr.net
ORCID: 0000-0003-4256-8852

УРОЖАЙНІСТЬ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОНЯШНИКУ ЗАЛЕЖНО ВІД ЙОГО ЧАСТКИ В СТРУКТУРІ СІВОЗМІНИ

Анотація

Важливість соняшника як основної олійної культури, висока економічна ефективність, насиченість аграрного ринку якісним насінням сучасних гібридів, стійких до несприятливих умов середовища, хвороб та шкідників з високим потенціалом врожайності сприяє підвищенню частки культури в сівозмінах. Не зважаючи на те, що багато дослідників не рекомендують повертати соняшник в сівозміну раніше ніж через п'ять-вісім років, вирощування соняшнику після соняшнику можливе. Однією із основних умов отримання високого врожаю в беззмінних посівах соняшника є фон живлення.

Дослідження проводили з чергування соняшнику та кукурудзи на зерно через рік в двопільній сівозміні та за вирощування соняшнику в монокультурі за різних систем удобрення на полях ІСТС НААН.

Щорічна черговість в сівозміні соняшника та кукурудзи сприяла підвищенню врожайності соняшника до 1,75 т/га порівняно до беззмінного його вирощування, де показник врожайності не перевищував 1,39 т/га, прибавка врожаю за рахунок сівозмінного фактору складала 0,36 т/га або 21,5%.

Більш істотно на врожайність соняшнику впливав фактор система удобрення. Вищий показник врожайності був за органо-мінеральної системи удобрення у сівозміні з насиченням соняшником 50% – 2,33 т/га. До того ж, внесення мінеральних добрив разом з поживними рештками соняшника в монокультурі нівелювало дію сівозмінного фактору і забезпечувало врожайність насіння на рівні сівозміни з чергуванням культур, 0,71 т/га.

Найбільшу прибавку врожаю отримали за мінеральної системи удобрення, 0,51 т/га або 36,7%, за органо-мінеральної системи збільшення врожаю було децю меншим – на 0,46 т/га або 27,4%.

Вищу продуктивність формували посіви соняшника в сівозміні з насичення культурою 50%. Сівозмінний фактор забезпечив збільшення виходу зернових, кормових одиниць та перетравного протеїну до 3,51 т/га, 1,93 т/га та 0,66 т/га відповідно, прибавка врожаю до монокультури соняшнику складала 0,72 т/га, 0,39 т/га та 0,14 т/га.

Збільшення показників продуктивності соняшника за рахунок дії фактору система удобрення було ще більш істотним і за органо-мінеральної системи у сівозміні з насичення соняшником 50% вони були найбільшими, 4,67 т/га зернових одиниць, 2,57 т/га кормових одиниць, 0,89 т/га перетравного протеїну.

Ключові слова: урожайність, продуктивність, сівозміна, насиченість сівозміни соняшником, система удобрення.

Список використаних джерел

1. Almir Rogerio E. de Souza *et al.* Production of Sunflower Oil in Response to Nitrogen Fertilization under Semiarid Conditions under Irrigation. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*. 2021. Int. J. Agric. Nat. Resour. 48(2):57-69. 2021. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v48i2.2114>
2. Debaeke P. *et al.* Sunflower crop: environmental-friendly and agroecological. *OCL* 2017, 24 (3), D304. <https://doi.org/10.1051/ocf/2017020>
3. Dehtiarova Z. The effect of short-term crop rotation with different proportions of sunflower on cellulolytic activity of the soil. *Soil science annual*. 2022, 73 (4), 156097–156097. <https://doi.org/10.37501/soilsa/156097>
4. Dehtiarova Z. O. Influence of short-term crop rotations with different proportions of sunflower on soil water regime. *Меліорація і водне господарство*, № 1. 2023. 94–101. <https://doi.org/10.31073/mivg202301-349>
5. Enielson Bezerra Soares *et al.* Sunflower performance as a function of phosphate fertilization in semiarid conditions. *Acta Scientiarum*. Agronomy, vol. 42, 2020. 1807–8621. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42960>
6. Kachanova T., Manushkina T., Petrova O., Shevchuk N. Productivity of high-oleic sunflower when grown in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 2023. 27(1), 41–50. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/1.2023.41>
7. Kussul N., Deininger K., Shumilo L., Lavreniuk M., Ayalew D. Ali, Nivievskiy O. Biophysical Impact of Sunflower Crop Rotation on Agricultural Fields Nataliia. *Sustainability*. 2022, 14, 3965. <https://doi.org/10.3390/su14073965>
8. Nesho Neshev. Comparison of crop rotation vs. monoculture: a sunflower case. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXV, No. 1, 2022. 455–460. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2022/issue_1/Art66.pdf
9. Robinson R.G., Smith L.J., Wiersma J.V. Sunflower monoculture and crop rotation. *Miscellaneous Report 166-1979*. Agricultural Experiment Station University of Minnesota. <https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/141182/MiscR166.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. Sokolovska Iryna, Maschenko Yuriy. Biotechnological methods of growing sunflower in different fertilizer systems. *Journal HELIA.*, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2023-11-22. Т. 46. № 79. 233–243. <https://doi.org/10.1515/helia-2023-0011>
11. Voitovyk M., Butenko Ye., Tkachenko M., Mishchenko Yu., Tsyuk O., Obrazhyy S., Panchenko O., Martyniuk I., Kondratiuk I., Kopylova T. Assessment of the Effect of Sunflower Agroecosystem on the Characteristics of the Structural and Aggregate Composition of Typical Black Soil. *Journal of Ecological Engineering* 2024, 25(1), 153–160. <https://doi.org/10.12911/22998993/174778>
12. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Карнаух О. Б. Сівозміна в Лісостепу України. За ред. В. О. Єщенко. Вінниця. 2020. 187 с.
13. Машенко Ю. В., Соколовська І. М. Продуктивність сої залежно від її частки в сівозміні та системи удобрення в умовах північного Степу. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. Випуск 1 (38). 2023. Сільськогосподарські науки. 26–32. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.4>
14. Ценгіло Л. В. Продуктивність сівозміни залежно від удобрення і обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Випуск 3, 52–60. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-3\(103\)-7](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-3(103)-7)
15. Цимбал Я. С., Бойко П. І., Мартинюк І. В., Кальчун Т. Р., Якименко Л. П. Продуктивність та якість насіння соняшнику в різноротаційних сівозмінах лісостепу за органо-мінеральної системи удобрення. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. Випуск 2 (4), 2022. 19–25. <https://doi.org/10.54651/agri.2022.02.02>

УДК 631.811:633.16:631.816

Гавриленко В. С.

здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)

Уманський національний університет садівництва,

Умань, Україна

E-mail: LyubichV@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1121-3867

**БАЛАНС ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У ҐРУНТІ ПІД ПОСІВАМИ
ЯЧМЕНЮ ГОЛОЗЕРНОГО ЯРОГО ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ****Анотація**

Ячмінь – основна зернова культура в Україні. Мінеральне живлення є одним із основних факторів регуляції росту і розвитку рослин. Для формування високопродуктивних агроценозів важливо забезпечити ячмінь ярій доступними елементами мінерального живлення, зокрема азотом, фосфором і калієм. Вони потрібні рослинам у більш короткий період порівняно з озимим формами. Оптимальний баланс поживних речовин забезпечується внесенням у ґрунт мінеральних добрив. Своєчасне і правильне внесення добрив створює оптимальні умови для рослин озимого ячменю і потребує уточнення в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

У статті наведено результати дослідження впливу удобрення на вміст основних елементів у зерні та соломі ячменю голозерного ярого, їх господарське винесення й баланс у ґрунті. У результаті проведених досліджень встановлено, що вміст загального азоту в зерні ячменю голозерного ярого становить 2,72–2,98%, вміст фосфору – 0,91–1,01, вміст калію – 0,62–0,71% залежно від системи удобрення. У соломі вміст калію найвищий, а вміст фосфору та азоту – найнижчий.

Необхідно відзначити, що на ділянках без добрив незалежно від комбінацій із соломою баланс основних елементів живлення в ґрунті був від'ємним – -14,8...-79,4 кг/га. За умови видалення соломи із поля баланс для азоту та калію був від'ємним незалежно від системи удобрення ячменю голозерного ярого. Баланс фосфору за внесення $P_{60}K_{70}$, $N_{70}P_{60}$, $N_{70}P_{60}K_{70}$, $N_{70}P_{60}K_{35}$ був додатнім – 5,5–20,5 кг/га.

Залишення соломи на полі як добриво не забезпечувало отримання додатного балансу азоту – -30,2...-64,7 кг/га залежно від варіанту досліду. При цьому баланс фосфору був додатнім за умови застосування 60 кг/га д. р. фосфорних добрив у складі системи удобрення. Баланс калію був додатнім зав використання систем удобрення, які містили калій. Баланс фосфору та калію на азотних системах був від'ємним.

Ключові слова: ячмінь голозерний ярій, системи удобрення, елементи живлення, господарське винесення, баланс елементів живлення.

Вступ. Нині на тлі глобального потепління й інших несприятливих чинників одним з основних завдань є вдосконалення технології вирощування зернових колосових культур у тому числі ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) [10]. Поряд з пшеницею та кукурудзою ячмінь є важливою продовольчою, технічною та фуражною зерновою культурою, яка забезпечує економічну безпеку країни. За показниками 2017 року Україна займала четверте місце в світі з валовим збором зерна (9,4 млн т) [3].

Ячмінь ярій добре реагує на застосування добрив. Однак у більшості сільськогосподарських підприємств врожайність ячменю не перевищує 50–60% реально можливого рівня. Встановлено, що застосування добрив дає можливість отримати до 40% приросту врожаю [2]. Розроблення системи удобрення сільськогосподарських культур проводять з урахуванням господарського винесення основних елементів живлення та їх балансу в ґрунті [8]. У зв'язку з цим вивчення питання щодо господарського винесення та балансу основних елементів живлення у ґрунті під посівами ячменю голозерного ярого є актуальним.

Балансу елементів живлення у ґрунті приділяють значної уваги, бо він є науковою основою для розроблення системи удобрення. Завданням його є поліпшення родючості ґрунту і підвищення врожайності сільськогосподарських культур [5, 11]. Баланс елементів живлення відображає ступінь інтенсифікації сільського господарства [7]. Важливо, що він дає можливість встановити недоліки існуючої системи удобрення та дозволяє визначити оптимальні дози і співвідношення складових елементів живлення [4]. Вважають, що баланс елементів мінерального живлення рослин є показником родючості ґрунту [6]. Він дає можливість науково обґрунтувати загальну потребу господарства в добривах. Доведено [1, 9], що на баланс елементів живлення впливає застосування добрив. При цьому рівень інтенсивності балансу визначається дозою добрив і рівнем урожаю сільськогосподарської культури.

Мета роботи. Вивчити питання щодо формування балансу основних елементів живлення у ґрунті під посівами ячменю голозерного ярого залежно від удобрення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Результати проведених досліджень свідчать, що застосування добрив у польовій сівозміні значно впливає на вміст основних елементів живлення в зерні та соломі ячменю голозерного ярого (табл. 1). У зерні ячменю найвищим був вміст загального азоту, який змінювався від 2,72 до 2,98% нас сухої речовини. При цьому найбільше на нього впливала азотна складова з повного мінерального добрива.

Таблиця 1. Вміст основних елементів живлення в зерні та соломі пшениці твердої озимої залежно від удобрення (2021–2023 рр.), % на суху масу

Варіант досліджу	Зерно			Солома		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	2,72	0,91	0,62	0,33	0,25	0,98
N ₃₅	2,93	0,92	0,62	0,37	0,25	0,98
N ₇₀	2,91	0,92	0,63	0,40	0,26	0,98
P ₆₀ K ₇₀	2,75	0,95	0,65	0,33	0,27	1,02
N ₇₀ K ₇₀	2,93	0,92	0,70	0,40	0,26	1,12
N ₇₀ P ₆₀	2,93	0,96	0,63	0,40	0,28	0,98
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	2,91	0,94	0,65	0,38	0,27	1,07
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	2,98	1,01	0,71	0,41	0,29	1,16
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	2,93	0,95	0,66	0,40	0,27	1,10
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	2,96	1,00	0,65	0,40	0,28	1,11
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	2,95	0,95	0,70	0,41	0,27	1,16

Так, за внесення лише азотних добрив у дозі 35 кг/га д. р. вміст азоту зростав до 2,93% або на 8% порівняно з контролем. За подвійної дози азотних добрив цей показник зростав до 2,91% або на 7%. У варіанті з повним мінеральним добривом вміст азоту зростав до 2,98% або на 10%. Незначне зниження вміст загального азоту в зерні ячменю голозерного ярого в окремих варіантах зумовлено виляганням рослин у 2021 р., що вплинуло на його середній показник. Варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив майже не впливали на вміст загального азоту в зерні ячменю.

Вміст фосфору в зерні ячменю голозерного ярого змінювався від 0,91 до 1,01% на суху масу. Необхідно відзначити, що азотні системи удобрення не впливали на вміст фосфору в зерні. Застосування лише фосфорних і калійних добрив підвищували його вміст до 0,95% або на 4% порівняно з ділянками без добрив. За умови повного мінерального добрива (N₇₀P₆₀K₇₀) вміст фосфору зростав до 1,01% або на 11%. Неповне повернення фосфорних добрив у складі повного мінерального добрива знижувало вміст фосфору до 0,94–0,95%.

Вміст калію в зерні ячменю голозерного ярого був у межах 0,62–0,71% залежно від системи удобрення. Тенденція впливу систем удобрення на вміст калію була подібною до вмісту фосфору в зерні. Найвищий його вміст отримано за повного мінерального добрива – 0,71%, що було більше на 15% порівняно з контролем.

У соломі ячменю голозерного ярого вміст калію був найвищим, а вміст азоту – найнижчим. Вміст калію змінювався від 0,98 до 1,16%, фосфору – від 0,25 до 0,29, азоту – від 0,33 до 0,41% залежно від системи удобрення. При цьому варіант з повним мінеральним добривом найбільше впливав на вміст основних елементів живлення.

Із зерном найбільше виносилось азоту – від 64,7 до 104,0 кг/га, а найменше калію – від 14,8 до 24,8 кг/га залежно від варіанту досліджу (табл. 2). Застосування азотних добрив у дозі N₃₅ збільшувало господарське винесення до 85,6 кг/га або в 1,3 рази порівняно з варіантом без добрив. За подвійної дози азотних добрив цей показник зростав до 91,7 кг/га або в 1,4 рази. Варіанти з різними комбінаціями фосфорних і калійних добрив збільшували господарське винесення азоту на 5–13% порівняно з азотними системами удобрення.

Таблиця 2. Господарське винесення основних елементів живлення пшеницею твердою озимою залежно від удобрення (2021–2023 рр.), кг/га

Варіант досліджу	Винесення зерном			Господарське винесення соломю		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	64,7	21,7	14,8	14,7	11,1	43,5
N ₃₅	85,6	26,9	18,1	20,5	13,9	54,4
N ₇₀	91,7	29,0	19,8	24,0	15,6	58,7
P ₆₀ K ₇₀	72,6	25,1	17,2	17,6	14,4	54,3
N ₇₀ K ₇₀	100,2	31,5	23,9	26,1	17,0	73,0
N ₇₀ P ₆₀	100,2	32,8	21,5	26,1	18,3	63,9
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	90,5	29,2	20,2	23,2	16,5	65,4
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	104,0	35,2	24,8	27,3	19,3	77,4
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	100,2	32,5	22,6	26,2	17,7	71,9
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	102,7	34,7	22,6	26,5	18,5	73,5
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	101,8	32,8	24,2	27,0	17,8	76,4

Господарське винесення фосфору на азотних системах удобрення було на рівні 26,9–29,0 кг/га. За фосфорно-калійної системи цей показник був лише 25,1 кг/га, а за повного мінерального добрива збільшувався до 35,2 кг/га або в 1,6 рази порівняно з контролем. Господарське винесення фосфору за різних комбінацій фосфорних і калійних добрив був у межах 25,1–34,7 кг/га.

Господарське винесення калію з урожаєм зерна ячменю голозерного ярого був найменшим – 14,8–24,8 кг/га залежно від варіанту дослідів. Застосування азотних систем удобрення збільшувало його винесення до 18,1–19,8 кг/га або на 22–32%. Системи удобрення, які містили калійні добрива збільшували його винесення до 20,2–24,8 кг/га або на 36–68% порівняно з контролем.

У господарському винесенні основних елементів живлення з урожаєм соломи частка калію була найвищою. Так, господарське винесення калію було від 43,5 до 77,4 кг/га залежно від системи удобрення. Винесення фосфору було найменшим – 11,1–19,3 кг/га, а винесення азоту – від 14,7 до 27,3 кг/га залежно від варіанту дослідів.

У господарському винесенні частка азоту в урожаї зерна та соломи найбільша – 79,4–131,1 кг/га залежно від удобрення ячменю голозерного ярого (табл. 3). У варіантах із азотними системами удобрення господарське винесення азоту збільшувалось до 106,1–115,7 кг/га або в 1,3–1,5 рази порівняно з ділянками без добрив. У варіанті $N_{35}P_{30}K_{35}$ цей показник збільшувався до 113,7 кг/га або на 7% порівняно з N_{35} . Застосування $N_{70}P_{60}K_{70}$ збільшувало господарське винесення до 131,3 кг/га або на 13% порівняно з N_{70} . Варіанти з неповним поверненням фосфорних і калійних добрив забезпечували господарське винесення азоту на 2–5% менше порівняно з повним мінеральним добривом.

Господарське винесення калію було на рівні 58,3–102,2 кг/га залежно від системи удобрення. Застосування різних систем удобрення збільшувало господарське винесення порівняно з контролем. Найбільше господарське винесення було за систем, які містили азотну та калійну складову – 96,9–102,2 кг/га проти 71,5–78,5 кг/га за фосфорно-калійної та азотних систем.

Господарське винесення фосфору було найменшим порівняно з азотом і калієм. При цьому вищі показники винесення отримано за вирощування ячменю голозерного ярого, використовуючи азотні та фосфорні добрива – 51,1–54,5 кг/га проти 39,6–44,6 кг/га за внесення фосфорних і калійних добрив та азотних системах. Застосування добрив збільшувало господарське винесення фосфору на 20–66% порівняно з ділянками без добрив.

Необхідно відзначити, що на ділянках без добрив незалежно від комбінацій із соломою баланс основних елементів живлення в ґрунті був від'ємним – -14,8...-79,4 кг/га (табл. 4). За умови видалення соломи із поля баланс для азоту та калію був від'ємним незалежно від системи удобрення ячменю голозерного ярого. Баланс фосфору за внесення $P_{60}K_{70}$, $N_{70}P_{60}$, $N_{70}P_{60}K_{70}$, $N_{70}P_{60}K_{35}$ був додатнім – 5,5–20,5 кг/га.

Залишення соломи на полі як добриво не забезпечувало отримання додатного балансу азоту – -30,2...-64,7 кг/га залежно від варіанту дослідів. При цьому баланс фосфору був додатнім за умови застосування 60 кг/га д. р. фосфорних добрив у складі системи удобрення. Баланс калію був додатнім зав використання систем удобрення, які містили калій. Баланс фосфору та калію на азотних системах був від'ємним.

Отже, вміст основних елементів живлення, господарське винесення та їх баланс у ґрунті під посівами ячменю голозерного ярого змінюється від застосування різних видів і доз добрив.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено, що вміст загального азоту в зерні ячменю голозерного ярого становить 2,72–2,98%, вміст фосфору – 0,91–1,01, вміст калію – 0,62–0,71% залежно від системи удобрення. У солоні вміст калію найвищий, а вміст фосфору та азоту – найнижчий. Найбільші показники винесення фосфору та калію забезпечували системи удобрення з більшою часткою фосфорних і калійних добрив. На господарське винесення азоту найбільше впливало застосування азотних добрив. Встановлено, що в середньому за три роки досліджень господарське винесення азоту становить 79,4 кг/га, фосфору – 32,8 кг/га,

Таблиця 3. Господарське винесення основних елементів живлення з урожаєм зерна та соломи ячменю голозерного ярого залежно від удобрення (2021–2023 рр.), кг/га

Варіант дослідів	Господарське винесення		
	N	P_2O_5	K_2O
Без добрив (контроль)	79,4	32,8	58,3
N_{35}	106,1	40,8	72,5
N_{70}	115,7	44,6	78,5
$P_{60}K_{70}$	90,2	39,5	71,5
$N_{70}K_{70}$	126,3	48,5	96,9
$N_{70}P_{60}$	126,3	51,1	85,4
$N_{35}P_{30}K_{35}$	113,7	45,7	85,6
$N_{70}P_{60}K_{70}$	131,3	54,5	102,2
$N_{70}P_{30}K_{35}$	126,4	50,2	94,5
$N_{70}P_{60}K_{35}$	129,2	53,2	96,1
$N_{70}P_{30}K_{70}$	128,8	50,6	100,6

Таблиця 4. Баланс основних елементів живлення за вирощування пшениці твердої озимої залежно від удобрення (2021–2023 рр.), кг/га

Варіант досліду	Баланс за умови					
	видалення соломи з поля			залишення соломи на полі		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	-79,4	-32,8	-58,3	-64,7	-21,7	-14,8
N ₃₅	-71,1	-40,8	-72,5	-50,6	-26,9	-18,1
N ₇₀	-45,7	-44,6	-78,5	-21,7	-29,0	-19,8
P ₆₀ K ₇₀	-90,2	20,5	-1,5	-72,6	34,9	52,8
N ₇₀ K ₇₀	-56,3	-48,5	-26,9	-30,2	-31,5	46,1
N ₇₀ P ₆₀	-56,3	8,9	-85,4	-30,2	27,2	-21,5
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	-78,7	-15,7	-50,6	-55,5	0,8	14,8
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	-61,3	5,5	-32,2	-34,0	24,8	45,2
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	-56,4	-20,2	-59,5	-30,2	-2,5	12,4
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	-59,2	6,8	-61,1	-32,7	25,3	12,4
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	-58,8	-20,6	-30,6	-31,8	-2,8	45,8

калію – 58,3 кг/га на ділянках без добрив. Застосування повного мінерального добрива (N₇₀P₆₀K₇₀) збільшує його відповідно до 131,3 кг/га, 54,5 і 102,2 кг/га. Баланс елементів живлення за умови видалення соломи із поля був від’ємним для азоту та калію і майже на всіх варіантах для фосфору. За умови залишення соломи на полі баланс азоту був також від’ємним незалежно від системи удобрення. Баланс фосфору та калію додатний при застосуванні систем удобрення, які містять фосфорні та калійні добрива, крім варіанту N₇₀P₃₀K₇₀ для фосфору. Ділянки без добрив та азотні системи удобрення забезпечують від’ємний баланс азоту, фосфору та калію. Набуло подальшого вивчення формування продуктивності нових сортів ячменю ярого в чотириріпільній сівозміні за тривалого застосування добрив.

Список використаних джерел

1. Гамаюнова В.В., Томницький А.В. Баланс основних елементів живлення у ґрунті залежно від внесення мінеральних добрив під нут. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2013. Вип. 1. С. 103–108.
2. Гораш О. С., Климишена Р. І. Ячмінь ярий. Теоретичні основи технології вирощування. Кам'янець-Подільський, 2019. 64 с.
3. Гораш О. С., Климишена Р. І. Ячмінь: управління ростом і розвитком. Кам'янець-Подільський, 2021. 312 с.
4. Господаренко Г. М., Любич В. В., Мартинюк А. Т. Агрохімічні властивості ґрунту за тривалого застосування мінеральних добрив. *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 34–38.
5. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Стасіневич О. Ю., Бойко В. П. Комплексне оцінювання системи застосування добрив у польовій сівозміні. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2018. Вип. 2(82). С. 56–66.
6. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Мартинюк А. Т. Агroeкономічні перспективи застосування азотних добрив під польові культури. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2021. Вип. 99. Ч. 1. С. 6–16.
7. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Бойко В. П. Вплив доз і співвідношень добриву польовій сівозміні на врожайність і якість зерна ячменю ярого. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2020. Вип. 96. Ч. 1. С. 205–218.
8. Любич В. В. Технологічні параметри виробництва зерна тритикале ярого, вирощеного за різних доз азотних добрив. *Вісник Уманського НУС*. 2023. № 2. С. 74–82.
9. Любич В. В., Господаренко Г. М., Мартинюк А. Т., Стасіневич О.Ю. Параметри родючості ґрунту та продуктивність польової сівозміні за внесення добрив і вапна. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2023. Вип. 102. С. 7–16.
10. Hospodarenko H., Liubych V., Oliinyk O., Polianetska I., Silifonov T. Influence of fertilization on the crop rotation productivity and the balance of essential nutrients in the soil. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellin*. 2022. Vol. 75(2). P. 9919–9928.
11. Hospodarenko H., Mostoviak I., Karpenko V., Liubych V., Novikov V. Yield and quality of winter durum wheat grain depending on the fertilizer system. *Scientific Horizons*. 2022. Vol. 25(3). P. 16–25.

Havrylenko V. S.*holder of the third (educational and scientific) level of higher education (doctor of philosophy)
Uman National University of Horticulture,
Uman, Ukraine***E-mail:** LyubichV@gmail.com**ORCID:** 0000-0002-1121-3867**THE BALANCE OF THE MAIN NUTRIENTS IN THE SOIL UNDER HULLESS
SPRING BARLEY CROPS DEPENDING ON FERTILIZER****Abstract**

Barley is the main grain crop in Ukraine. Mineral nutrition is one of the main factors to regulate plant growth and development. To form highly productive agrocenoses, it is important to provide spring barley with available elements of mineral nutrition, nitrogen, phosphorus and potassium, in particular. They are needed by the plants within a shorter period compared to the winter forms. The optimal balance of nutrients is ensured by applying mineral fertilizers into the soil. Timely and correct application of fertilizers creates favourable conditions for winter barley plants and needs to be clarified in specific soil and climatic conditions.

The article presents the research results of fertilizer effect on the content of the main elements in the grain and straw of hulless spring barley, their economic application and balance in the soil. As a result of the conducted research, it was established that the total nitrogen content in hulless spring barley grains is 2.72–2.98%, the phosphorus content is 0.91–1.01%, the potassium content is 0.62–0.71% depending on fertilizer system. Straw has the highest potassium content and the lowest phosphorus and nitrogen one.

It should be noted that on fertilizer omitted plots, regardless of combinations with straw, the balance of the main nutrients in the soil was negative -14.8...-79.4 kg/ha. Under the condition of removing straw from the field, the balance of nitrogen and potassium was negative regardless of the fertilization system of the hulless spring barley. Phosphorus balance after application of $P_{60}K_{70}N_{70}P_{60}N_{70}P_{60}K_{70}N_{70}P_{60}K_{35}$ was positive - 5.5–20.5 kg/ha.

To leave straw on the field as fertilizer did not provide a positive nitrogen balance - -30.2...-64.7 kg/ha depending on the experiment variant. At the same time, phosphorus balance was positive under the condition of using 60 kg/ha of phosphorus fertilizers as part of the fertilization system. Potassium balance was positive when using fertilizer systems that contained potassium. Phosphorus and potassium balance on nitrogen systems was negative.

Key words: spring barley, fertilizer systems, nutrients, economic removal, balance of nutrients.

References

1. Gamayunova, V.V., & Tomnytskyi, A.V. (2013). Balans osnovnykh elementiv zhyvlennia u grunti zalezno vid vnesennia mineralnykh dobrovyv pid nut [The balance of the main nutrients in the soil depending on the application of mineral fertilizers under chickpeas]. *Herald of Agrarian Science of the Black Sea Region*, iss. 1, pp. 103–108 [in Ukrainian].
2. Horash, O.S., & Klymyshena, R.I. (2019). *Yachmin yaryi. Teoretychni osnovy tekhnolohii vyroshchuvannia [Spring barley. Theoretical foundations of cultivation technology]*. Kamianets-Podilskyi, 64 p. [in Ukrainian].
3. Horash, O.S., & Klymyshena, R.I. (2021). *Yachmin: upravlinnia rostom i rozvytkom [Barley: management of growth and development]*. Kamianets-Podilskyi, 312 p. [in Ukrainian].
4. Gospodarenko, G.M., Lyubich, V.V., & Martynyuk, A.T. (2023). Ahrokhimichni vlastyvoli gruntu za tryvaloho zastosuvannia mineralnykh dobrovyv [Agrochemical properties of soil with long-term use of mineral fertilizers]. *Agrarian innovations*, iss. 19, pp. 34–38 [in Ukrainian].
5. Gospodarenko, H.M., Prokopchuk, I.V., Stasinevich, O.Yu., & Boyko, V.P. (2018). Kompleksne otsiniuvannia systemy zastosuvannia dobrovyv u polovii sivozmini [Comprehensive evaluation of the fertilizer application system in field crop rotation]. *Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management*, iss. 2(82), pp. 56–66 [in Ukrainian].
6. Gospodarenko, G.M., Chernov, O.D., & Martyniuk, A.T. (2021). hroekonomichni perspektyvy zastosuvannia azotnykh dobrovyv pid polovi kultury [Agro-economic prospects of using nitrogen fertilizers for field crops]. Coll. of science Ave. Umansky NUS, iss. 99, pp. 6–16 [in Ukrainian].
7. Gospodarenko, H.M., Prokopchuk, I.V., & Boyko, V.P. (2020). Vplyv doz i spivvidnoshen dobrovyv polovii sivozmini na vrozhaunist i yakist zerna yachmeniu yarohe [Influence of doses and ratios of fertilizer in field crop rotation on the yield and quality of spring barley grain]. Coll. of science Ave. Umansky NUS, iss. 96, pp. 205–218 [in Ukrainian].
8. Lyubich, V. V. (2023). Ekhnolohichni parametry vyrobnytstva zerna trytykale yarohe, vyroshchenoho za riznykh doz azotnykh dobrovyv [Technological parameters of spring triticale grain production grown under different doses of nitrogen fertilizers]. *Bulletin of the Uman State University*, iss. 2, pp. 74–82 [in Ukrainian].
9. Lyubich, V.V., Gospodarenko, H.M., Martyniuk, A.T., & Stasinevich, O.Yu. (2023). Parametry rodiuchosti gruntu ta produktyvnist polovoi sivozminy za vnesennia dobrovyv i vapna [Parameters of soil fertility and productivity of field crop rotation with the application of fertilizers and lime]. Coll. of science Ave. Umansky NUS, iss. 102, pp. 7–16 [in Ukrainian].
10. Gospodarenko, H., Liubych, V., Oliinyk, O., Polianetska, I., & Silifonov, T. (2022). Influence of fertilization on crop rotation productivity and the balance of essential nutrients in the soil. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellin*, iss. 75(2), pp. 9919–9928.
11. Gospodarenko, H., Mostoviak, I., Karpenko, V., Liubych, V., & Novikov, V. (2022). Yield and quality of winter durum wheat grain depending on the fertilizer system. *Scientific Horizons*, iss. 25(3), pp. 16–25.

УДК 591.128:636.4.082.31:636.083.1

Дещенко О. С.

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії III року навчання,
кафедра біології тварин,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна

E-mail: deschenkoalexandr@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2185-2689

Лихач А. В.

доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри біології тварин
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна

E-mail: avlykhach@nubip.edu.ua

ORCID: 0000-0002-0472-6162

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРУ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ НА ФІЗІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ КНУРІВ-ПЛІДНИКІВ

Анотація

Екстремальні кліматичні умови є викликом для адаптації тварин, у тому числі для свиней. Тепловий стрес завдає збитків для галузі свинарства, благополуччя свиней, оскільки знижуються продуктивні ознаки тварин, уповільнюються чи зовсім припиняються статеві цикли, рефлекс, знижується якісне запліднення тощо. Для того, щоб фермери могли контролювати мікроклімат тваринницьких приміщень застосовують ряд систем вентиляції повітря.

У статті представлено результати вимірювань і аналізу осциляції температурних значень залежно від типу вентиляційних систем у приміщенні для утримання кнурів-плідників упродовж серпня місяця та вплив на їх фізіологічні параметри. Експериментальні дослідження проводили протягом 2021 року, загалом використано 18 голів кнурів-плідників великої білої породи, порід ландрас і дюрок в умовах ПрАТ «Племзавод «Степной» Запорізької області. Правила поводження з кнурами в експерименті відповідали законодавству про захист тварин та їх комфорт, які утримуються на фермах.

Результати експерименту свідчать, при геотермічній вентиляції в приміщенні спостерігався «ефект підвалу», що спричиняло зниження температури повітря на 5,9 °C ($p < 0,05$) у зоні лежання кнурів на відстані 25–30 см від підлоги, а в зоні, де тварини стояли (60–70 см від підлоги) – на 7,3 °C ($p < 0,05$), відносно поперечної системи вентиляції. Кнури-плідники, які утримувалися в приміщеннях із системою поперечної вентиляції, мали вірогідно ($p < 0,05$) вищі: частоту дихання – на 50,9 уд/хв і частоту серцевих скорочень – на 45,7 уд/хв, порівняно з аналогічними кнурами за охолодженої подачі повітря.

Вплив температури повітря за різних систем вентиляції при утриманні кнурів-плідників на їх метаболізм свідчить, що при вищих температурах зони комфорту кнури-плідники знижують свою активність з можливістю підвищеної тепловіддачі безпосередньо за рахунок шкіри і поверхневого випаровування води. При температурі повітря у приміщенні вище 30 °C механізми терморегуляції виходять з ладу і температура тіла підвищується. При температурі повітря у приміщенні 35 °C, температура тіла підвищується до 42 °C і більше, дихання стає частішим, спостерігається відмова від їжі, швидко настає кома і смерть. Дорослі свині більш толерантні до низьких температур.

Ключові слова: свині, температура, геотермальна вентиляція, фізіологічні параметри, зона термічної нейтральності, гіпертермія, благополуччя.

Вступ. Свинина лишається споживаним м'ясом в Україні й, незважаючи на запеклі бойові дії з країною-агресоркою, оператори ринку вирощують свиней в зонах з екстремальними температурами. В даному контексті особливо цінними є кнури, які виробляють еякуляти високої якості, що є важливим критерієм якісного штучного осіменіння та має економічний вплив на виробництво свинини [15]. У зв'язку з цим, технології виробництва свинини, мають бути пов'язані з благополуччям і здоров'ям тварин [16, 18], а знання терморегуляційних закономірностей свиней є важливим параметром рентабельного ведення галузі свинарства [11]. Клімат України, особливо південних регіонів, визначається м'якою малосніжною зимою та особливо спекотним літом, що призводить до відхилень параметрів мікроклімату в свинарських фермах [10], провокуючи виникнення технологічного стресу, що змінює поведінкові паттерни, продуктивність, здоров'я і благополуччя свиней.

Зарубіжними дослідниками Botto L., Lendelová J., Strmeňová A., Reichstädterová T. [5] встановлено, що свині за своїми фізіологічними параметрами характеризуються мінливістю температури тіла, і порівняно з іншими видами тварин, є відносно чутливими до високих температур. Така особливість пов'язана з тим, що у свиней слабо виражена судинна реакція, недостатньо розвинені потові залози [6], суттєве відкладення підшкірної клітковини, ускладнюють тепловіддачу за рахунок шкіри. Крім того, як зазначає Braske M.V.M. [6], свині мають

коротшу морду порівняно із дикими тваринами, що є причиною зниження тепловіддачі через зменшену пропускну здатність органів дихання. Варто відзначити, що з віком і збільшенням живої маси температура тіла свиней знижується, а вплив теплового стресу викликає занепокоєння у свиней [4]. Ось тому, поведінка свиней є важливим фактором терморегуляції, оскільки свині не можуть потіти і покладаються на різні поведінкові зміни, щоб втратити або зберегти тепло. Разом з тим, свині повинні підтримувати постійну внутрішню температуру тіла, виробляти тепло, а надлишок тепла, що залишився, видаляти у навколишнє середовище. Цей процес вироблення і розсіювання тепла називається терморегуляцією [14]. Як зазначають Nienaber J.A., Brown Brandl T.M. [17], система клімат-контролю у приміщенні для утримання тварин різних технологічних груп не завжди гарантує кліматичні умови в межах зони їх теплового комфорту. Для належної оцінки відповідності температури у приміщенні для утримання свиней приходять на допомогу прості фізичні обстеження тварин, так звана «клінічна тріада», що полягає у вимірюванні ректальної температури, кількості серцевих скорочень і дихальних рухів. У доступній нам літературі такі дослідження є обмеженими, а тому зацікавили і спонукали нас до проведення експерименту.

Мета роботи. Метою даного дослідження було вивчення впливу у температурного фактору залежно від типів вентиляційних систем у приміщенні на фізіологічні параметри кнурів-плідників.

Матеріал і методи. Умови годівлі, напування, утримання, догляду, профілактики та лікування відповідали європейському законодавству щодо захисту тварин та їх комфорту (Директива Ради 2008/120/ЄС «Про встановлення мінімальних стандартів захисту свиней» від 18 грудня 2008 р. [7]), (Директива Європейського Парламенту та Ради 2010/63/ЄС «Про захист тварин, що використовуються в наукових цілях» від 22 вересня 2010 р. [8]) та Наказу Міністерства України «Про затвердження Вимог щодо забезпечення добробуту сільськогосподарських тварин під час їх утримання» від 18 лютого 2021 р. [3]. Поводження з кнурами в експерименті повністю відповідає вимогам біоетичних стандартів належного поводження з тваринами, схваленого Локальною комісією з питань біоетики Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Експериментальні дослідження проводили впродовж 2021 року у племінному господарстві України – ПрАТ «Племзавод «Степной» Запорізької області. Всього в експерименті використано 18 голів кнурів-плідників великої білої породи, порід ландрас і дюрок.

У свиначнику використовували примусову поперечну та геотермальну вентиляцію з електронним управлінням. Кнурам згодовували індивідуально гранульований повнораціонний комбікорм «Eber» по 2,8–3,0 кг корму на голову/добу з поживністю: вміст сирого протеїну 202,630 г/кг та обмінною енергією 12,406 МДж/кг. До складу 1 кг гранульованого комбікорму «Eber» виробництва ТОВ «ПК «Альтернатива» входять наступні інгредієнти (%): кукурудза (20,000), пшениця (18,355), висівки пшеничні (25,000), макуха соєва (22,645), шрот соняшниковий (10,000), Аміномікс Ебер (4,000), (сертифікат якості згідно з Технічними умовами ДСТУ 4508:2005). Корм згодовували двічі на добу, о 8:00 та 16:00. Кнури мали постійний доступ до питної води з ніпельних напувалок. Параметри мікроклімату під час утримання кнурів відповідали ВНТП-АПК – 02.05 «Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)» [2].

Повновікових кнурів-плідників розділено на 2 групи: контрольна група кнурів у кількості 9 голів утримувалася у приміщенні, вентиляція якого здійснювалось за допомогою системи поперечної вентиляції, з стінними повітрязабірними клапанами, витяжними стінними вентиляторами і автоматизованою системою регулювання мікроклімату. Особливості конструкційного рішення вентиляційної системи у приміщенні, де утримувались кнури у кількості 9 голів дослідної групи полягали у організації циркуляції повітря шляхом геотермальною системою: приплив повітря із навколишнього середовища здійснювався через вхідну повітрязабірну шахту, далі рух повітря пролягав через підземний тунель-повітропровід, де воно додатково нагрівалося взимку, або охолоджувалося влітку за рахунок енергії ґрунту перед надходженням безпосередньо у приміщення через нижні повітряні стійки, котрі рівномірно знаходилися біля стінок кнурів. Витяжні вентилятори шахт, розміщених на стелі, витягували повітря назовні, а функціонування всієї системи організовувалося і контролювалося приладом управління мікрокліматом.

У серпні, як найспекотнішому місяці літа, за допомогою електронного аналізатора мікроклімату фіксували динаміку температурних коливань. Три автономні датчики фіксували зміни температури мікроклімату кожні 60 хвилин протягом тижня і записували їх на внутрішній електронний носій кожного датчика. Крім того, для формування загальної бази даних, показання всіх датчиків передавалися через комутацію *Wi-Fi* на центральний пульт, де відбувався дублюючий запис на карту пам'яті. Визначалася температура повітря: 1 датчик – зовнішня; 2 датчик – в зоні лежання кнурів на рівні 25–30 см від підлоги; 3 датчик – в зоні стояння на рівні 60–70 см від підлоги.

Для обстеження «клінічної тріади» відносно осциляції значень температури повітря у приміщеннях для утримання кнурів вимірювали: частоту дихальних рухів (ЧДР), як кількість безперервних рухів грудної клітки (уд/хв) за хвилину (60 секунд) за допомогою секундоміра; частоту серцевих скорочень (ЧСС) – за допомогою портативного ветеринарного пульсоксиметра *UT100V* для вимірювання частоти пульсу з інтервалом насичення 25–350 уд/хв з точністю ± 2 уд/хв шляхом фіксації приладу на вухах тварини; ректальну температуру (РТ) – за допомогою цифрового термометра, який вводили на 50 мм у пряму кишку, доки показники не ставали постійними.

Отримані результати проаналізовано за допомогою Excel 2010. Результати представлені як середня арифметична величина \pm похибка середньої арифметичної величини ($\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$). Для дослідження використовували такі рівні значущості: $P < 0,05$; 0,01 і 0,001 й аналізували за допомогою t-критерію Стьюдента [1].

Виклад основного матеріалу дослідження. Впродовж експериментального періоду (серпень, 2021 року) встановлено, що значення температури навколишнього середовища змінювалися залежно від часу доби. Спостереження свідчать, що з опівночі до 06⁰⁰ год ранку значення зовнішньої температури рівномірно знижувалося з 22 °C до 18,4 °C, що є очевидним процесом у цю пору року. Починаючи з 6³⁰ год ранку показник температури зовнішнього повітря неупинно зростає з 19,2 °C до 35,8°C на 14³⁰год. Далі, спостерігали незмінне значення температури на позначці 35,8 °C до 16⁰⁰ год. З 16³⁰ год температура повітря починала поступово, повільно знижуватися і до півночі її значення стабілізувалося.

Проте, температурні показники у зоні лежання кнурів на рівні 25–30 см від підлоги й в зоні стояння тварин на рівні 60–70 см від підлоги різнилися залежно від типу системи клімат-контролю у приміщенні для утримання відповідної технологічної групи свиней (табл. 1). На підставі табличних даних, зазначаємо, що на момент вимірювання середнє значення температури навколишнього повітря у серпні місяці склало 26,7 °C. Середня температура у зоні лежання кнурів, що відповідає 25–30 см від підлоги за поперечної системи вентиляції становила 27,5 °C, що вірогідно ($p < 0,05$) на 21,45% більше аналогічного показнику при геотермальній вентиляційній системі.

Температурна різниця стосовно охолодження повітря припадала на користь геотермальній вентиляції у зоні лежання кнурів, оскільки повітря, пройшовши через повітропроводи підземного тунелю втратило 5,9 °C тепла, що свідчить про роботу «ефект підвалу» (рис. 1), а значить система підземного охолодження справляється з основним своїм завданням.

У зоні стояння кнурів на рівні 60–70 см від підлоги на 7,3 °C, або 24,25% ($p < 0,05$) зменшилася температура повітря за геотермальної вентиляції, що знову свідчить про спрацювання «ефекту підвалу» (рис. 1). Натомість, за поперечної системи вентиляції температура на рівні стояння кнурів зафіксована на позначці 30,1 °C.

Отже, середні дані температурної осциляції свідчать, що за геотермальної вентиляції повітря, навіть за умов пікових високих зовнішніх температур, не відбувається її підвищення чи суттєвої амплітуди коливань, що дозволяє тримати температуру у приміщенні для кнурів-плідників на дозволеному рівні.

Температурний фактор впливав на фізіологічні показники кнурів за різних типів вентиляційних систем у приміщенні (табл. 2).

Таблиця 1. Осциляція температури повітря залежно від системи клімат-контролю у приміщенні для утримання кнурів-плідників, $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$

Показник температури	Тип вентиляції	
	поперечна	геотермальна
Зовні	26,7±3,56	26,7±3,56
У зоні лежання кнурів (25–30 см від підлоги)	27,5±1,95 ^A	21,6±1,52 ^B
У зоні стояння кнурів (60–70 см від підлоги)	30,1±2,37 ^A	22,8±1,65 ^B

Тут і далі примітка: ^{A, B} – в одному рядку нарядкові символи означають статистично значущі відмінності між показниками, при $p < 0,05$.

Джерело: авторські вимірювальні дані та розрахунки

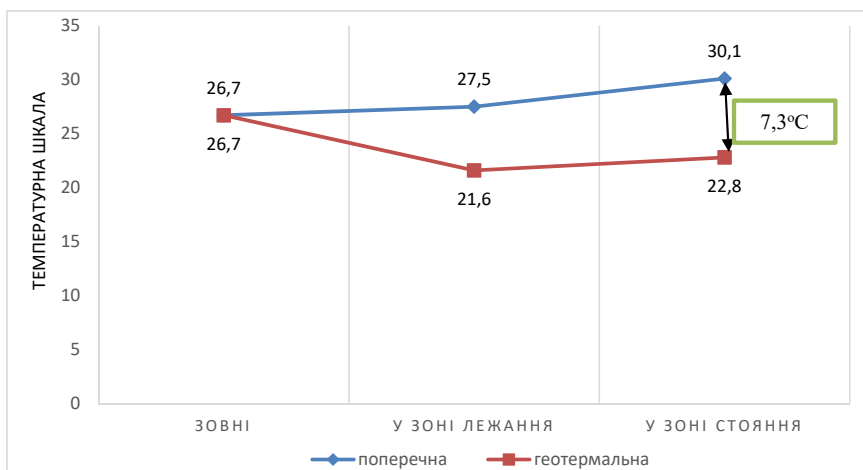


Рис. 1. Контроль температури у приміщенні для утримання кнурів-плідників

Примітка: \updownarrow – наявність фігури свідчить про «ефект підвалу»; \square – втрати тепла повітря

Джерело: авторська розробка

Таблиця 2. Фізіологічні показники кнурів-плідників залежно від системи клімат-контролю у приміщенні, $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$

Показник	Тип вентиляції		Нормативне значення
	поперечна	геотермальна	
Частота серцевих скорочень, уд/хв	134,9±5,62 ^A	89,2±4,25 ^B	80,0-100,0
Частота дихальних рухів, уд/хв	74,5±4,72 ^A	23,6±3,29 ^B	10,0-35,0
Ректальна температура, °C	39,2±2,44	38,6±1,78	38,0-39,0

Як вказують *Ross J.W., Hale B.J., Gabler N.K., Rhoads R.P., Keating A.F., Baumgard L.H.* [19], реакція тварин на тепловий стрес починається зі збільшення частоти дихання, продовжується зменшенням споживання корму та призводить до підвищення ректальної температури, що є показником зниження продуктивності свиней. В результаті проведеного експерименту встановлено, що кнури-плідники, котрі утримувалися у приміщенні за поперечною системою вентиляції повітря під впливом підвищеної температури мали достовірно вищу частоту дихання (74,5 уд/хв), тоді як кнури-аналоги за охолодженої подачі повітря мали показники дихання в межах діапазону нормативних значень (23,6 уд/хв). Варто відзначити, що збільшення частоти дихання – основний механізм тепловіддачі у свиней, що є ефективною фізіологічною системою підтримання терморегуляції. Проте, як повідомляють *Huynh T.T.T.* із співавторами [12], нормальна частота дихання у свиней коливається в середньому від 10,0 до 32,7 уд/хв. Згідно з цим експериментом, така підвищена частота дихання є небезпечною і свідчить про невідкладний стан тварин, що може призвести до гіпертермії і, як наслідок, до смерті. Оскільки розумна тепловіддача стає неефективною через зменшення температурного градієнта між шкірою і навколишнім повітрям, свині покладаються, в першу чергу, на випаровування тепла, збільшуючи частоту дихання для підтримки постійної температури тіла [13].

Стосовно параметру частоти серцевих скорочень, то зафіксовано збільшення даного показнику в кнурів на 45,7 уд/хв, або 33,88% ($p < 0,05$), котрі утримувалися у приміщеннях з поперечним вентиляванням повітря відносно геотермальної системи. Така реакція обумовлена прямою стимуляцією теплового центру в гіпоталамусі, що надсилає імпульс кардіореспіраторній системі у спробі вивільнити тепло шляхом випаровування за рахунок збільшення кількості серцевих скорочень і дихальних рухів.

Вимірювання ректальної температури у кнурів, які утримувалися за різних типів систем вентиляції у приміщенні не виявило суттєвих відмінностей за значенням даного показнику, й знаходилася в межах нормативних значень, варіюючи в діапазоні 38,0–39,2 °C. Отже, підвищення температури тіла зі збільшенням температури навколишнього середовища не виявлено.

Результати, отримані в ході експерименту, дозволяють схематично відобразити вплив температури повітря за різних систем вентиляції при утриманні кнурів-плідників на їх метаболізм (рис. 2).

Якщо метаболічне теплоутворення не залежить від температури повітря у приміщенні, то кнури-плідники перебувають у зоні термонейтральності, що включає зону комфорту, теплу зону та прохолодну зону [15]. У термонейтральній зоні кнури-плідники легко адаптуються до температури повітря у приміщенні, щоб підтримувати температуру тіла шляхом звуження і розширення кровоносних судин [14].

У випадку експериментальних досліджень було встановлено, що термонейтральна зона для кнурів-плідників становить +17...+19 °C. У холодній зоні кнури змушені вдаватися до більш екстремальних фізіологічних дій, щоб підтримувати власну температуру тіла [9]. Якщо температура досягає нижньої критичної точки (+5...0 °C), то у кнурів-плідників виникає холодний стрес і, як наслідок, зниження температури тіла (гіпотермія) - нижче 0 °C.

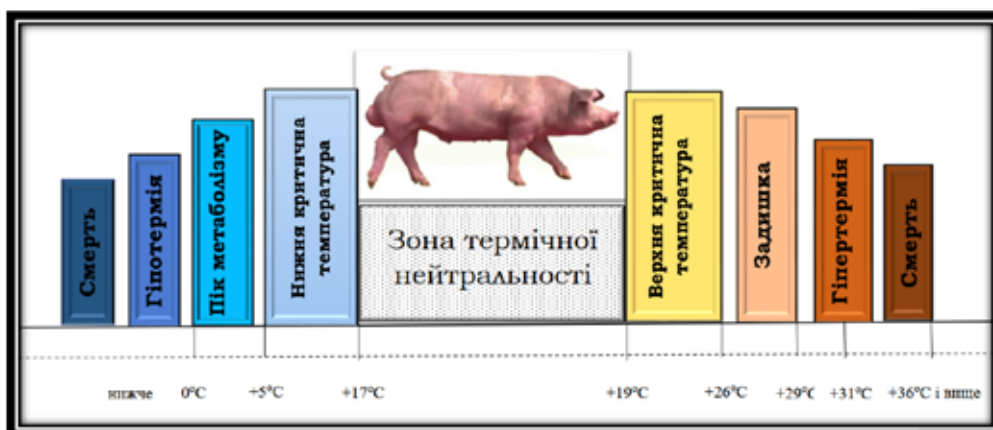


Рис. 2. Вплив температури повітря у приміщенні на метаболізм кнурів-плідників

Примітки: нижня критична температура - це температура повітря у приміщенні, нижче якої кнури повинні збільшити виробництво тепла для підтримки теплового балансу; верхня критична температура - це температура повітря у приміщенні, вище якої кнури повинні збільшити швидкість тепловтрат для досягнення теплового балансу.

При вищих температурах зони комфорту кнури-плідники знижують свою активність [14], віддаючи перевагу вологому середовищу (зволоження шкіри), що створює можливість підвищеної тепловіддачі безпосередньо від шкіри за рахунок поверхневого випаровування води. При температурі повітря у приміщенні вище 30 °C механізми терморегуляції виходять з ладу і температура тіла підвищується. При температурі повітря у приміщенні 35 °C, температура тіла підвищується до 42 °C і більше. Дихання стає частішим, спостерігається відмова від їжі, швидко настає кома і навіть смерть. Дорослі свині більш толерантні до низьких температур [11].

Нижню і верхню температуру термонеутральної зони називають критичними температурами. Тому, коли температура повітря нижча за нижню критичну, утримувати тепло в організмі за рахунок зменшення тепловіддачі вже неможливо, спостерігається м'язове тремтіння і тварини змушені підвищувати інтенсивність метаболізму для того, щоб виробляти тепло. При температурі повітря вище верхньої критичної межі спостерігається збільшення тепловіддачі за рахунок виділення поту і посиленого дихання [9].

Висновки. На підставі проведених досліджень встановлено, що за геотермальної вентиляції спостерігався у приміщенні «ефект підвалу», внаслідок якого температура повітря охолоджувалася у зоні лежання кнурів на рівні 25–30 см від підлоги на 5,9 °C ($p < 0,05$), а в зоні стояння тварин на рівні 60–70 см від підлоги – 7,3 °C ($p < 0,05$) відносно поперечної системи вентиляції. Кнури-плідники, котрі утримувалися у приміщенні за поперечною системою вентиляції повітря мали достовірно ($p < 0,05$) вищу частоту дихання на 50,9 уд/хв і частоту серцевих скорочень на 45,7 уд/хв, ніж кнури-аналоги за охолодженої подачі повітря.

Перспективи досліджень. Потребує детального вивчення вплив типу вентиляційної системи у приміщенні для утримання кнурів-плідників на показники їх поведінки залежно від породи та віку.

Список використаних джерел

1. Аналіз біометричних даних у розведенні та селекції тварин : навчальний посібник / С. С. Крамаренко, С. І. Луговий, А. В. Лихач, О. С. Крамаренко. Миколаїв: МНАУ, 2019. 211 с.
2. Відомчі норми технологічного проектування Свилярські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми), ВНТП-АПК – 02.05. К. : Мінагрополітики України, 2005. 98 с. URL : https://lugdpss.gov.ua/images/bezpechnist_veterynariya/Svynarski-pidpruyemstva-VNTP-APK-02.05.pdf
3. Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України № 224 від 08.02.2021 «Про затвердження вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання». Зареєстрований від 18.02.2021 Міністерством Юстиції України № 206/35828.
4. Adebisi O.A., Muibi M.A., Alaba O. Nigerian Performance and behavioural characteristics of Pigs as affected by types and duration of evaporative cooling. *Nigerian Journal of Animal Science*, 2017. Vol. 19(2). P. 103–113.
5. Botto L., Lendelová J., Strmeňová A., Reichstädterová T. The effect of evaporative cooling on climatic parameters in a stable for sows. *Research in Agricultural Engineering*, 2014. Vol. 60. P. 85–91. <https://doi.org/10.17221/40/2013-RAE>
6. Bracke M.B.M. Review of wallowing in pigs: Description of the behaviour and its motivational basis. *Applied Animal Behaviour Science*, 2011. Vol. 132(1-2). P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.01.002>
7. Council Directive 2008/120/EC of 18 December 2008 laying down minimum standards for the protection of pigs (Codified version). *Official Journal of the European Union*. L 47. 18.2.2009. P. 5–13.
8. Council Directive 2010/63/EC of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. *Official Journal of the European Union*. L 276/33. 22.09.2010. P. 15–47.
9. Dekker M. The effect of temperature and activity patterns on lying behaviour and space use in conventional housed fattening pigs. PhD Thesis. Wageningen University. Wageningen, 2015. 165 p.
10. Gody D., Herbut P., Angrecka S., Corrêa Vieira F.M. Use of Different Cooling Methods in Pig Facilities to Alleviate the Effects of Heat Stress – A Review. *Animals*, 2020. Vol. 10(9). P. 1459. <https://doi.org/10.3390/ani10091459>
11. Gourdin J-L., Rauw W.M., Gilbert H., Poulet N. The Genetics of Thermoregulation in Pigs: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 2021. Vol. 8. P. 770480. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.770480>
12. Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Truong C.T., Kemp B., Verstegen M.W.A. Effects of tropical climate and water-cooling methods on growing pigs' responses. *Livestock Science*, 2006. Vol. 104(3) P. 278–291. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.029>
13. Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Heetkamp M.J.W., Verstegen M.W.A., Kemp B. Evaporative heat loss from group-housed growing pigs at high ambient temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 2007. Vol. 32(5). P. 293–299. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2007.03.001>
14. Kanis E., van den Belt H., Groen A.F., Schakel J., de Greef K.H. Breeding for improved welfare in pigs: a conceptual framework and its use in practice. *Animal Science*, 2004. Vol. 78(2). P. 315–329. <https://doi.org/10.1017/S1357729800054102>
15. Lykhach A., Lykhach V., Barkar Y., Shpetny M., Kucher O. Dependence between behavioural acts and sperm parameters of boars of modern and local breeds of Ukraine. *Journal of Animal Behavioural and Biometeorology*, 2023. Vol. 11(1). e2023008. <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.23008>
16. Marchant-Forde J.N., Rodenburg T.B. Future directions for applied ethology. In: Brown J, Seddon Y, Appleby M, editors. *Animals and Us: 50 Years and More of Applied Ethology*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2016. P. 297–318.
17. Nienaber J.A., Brown Brandl T.M. Heat Stress Effects on Growing-Finishing Swine. In *Proceedings of the 25th Annual Carolina Swine Nutrition Conference*, Raleigh, NC, USA; 2009. P. 654–687.
18. Parois S.P., Cabezon F.A., Schinckel A.P., Johnson J.S., Stwalley R.M. and Marchant-Forde J.N. Effect of Floor Cooling on Behavior and Heart Rate of Late Lactation Sows Under Acute Heat Stress. *Frontiers in Veterinary Science*, 2018. Vol. 5. P. 223. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00223>
19. Ross J.W., Hale B.J., Gabler N.K., Rhoads R.P., Keating A.F., Baumgard L.H. Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 2015. Vol. 55(12). P. 1381–1390. <https://doi.org/10.1071/AN15267>

Deshchenko O. S.

Third-Year Postgraduate Student,
Department of Animal Biology,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine

E-mail: deschenkoalexandr@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2185-2689

Lykhach A. V.

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Professor at the Department of Animal Biology
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine

E-mail: avlykhach@nubip.edu.ua

ORCID: 0000-0002-0472-6162

INFLUENCE OF THE TEMPERATURE FACTOR IN DIFFERENT VENTILATION SYSTEMS ON THE PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF BOARS

Abstract

Extreme climatic conditions are a challenge for the adaptation of animals, including pigs. Heat stress causes damage to the pig industry and pig welfare, as it reduces productive traits of pigs, slows down or stops sexual cycles, reflexes, reduces quality fertilization, etc. In order for farmers to control the microclimate of livestock premises, a number of air ventilation systems are used.

The article presents the results of measurements and analysis of temperature oscillations depending on the type of ventilation system in the boar housing during the month of August and the impact on their physiological parameters.

Experimental studies were conducted during 2021, with a total of 18 boars of the Large White, Landrace and Duroc breeds used at P.JSC Stepnoy Stud Farm in Zaporizhzhya region. The rules for handling boars in the experiment were in line with the legislation on the protection of animals and their comfort kept on farms.

The results of the experiment show that with geothermal ventilation in the housing there was a «basement effect», which caused a decrease in air temperature by 5.9 °C ($p < 0.05$) in the area where boars lay at a distance of 25–30 cm from the floor, and in the area where animals stood (60–70 cm from the floor) – by 7.3 °C ($p < 0.05$), relative to the transverse ventilation system. Boars kept in housing with a transverse ventilation system had significantly ($p < 0.05$) higher respiratory rate – by 50.9 beats/min and heart rate – by 45.7 beats/min compared to similar boars with a cooled air supply.

The effect of air temperature under different ventilation systems for keeping boars on their metabolism shows that at higher temperatures of the comfort zone, boars reduce their activity with the possibility of increased heat transfer directly through the skin and surface evaporation of water. At indoor temperatures above 30 °C, thermoregulation mechanisms fail and body temperature rises. At an indoor air temperature of 35 °C, the body temperature rises to 42 °C or more, breathing becomes more frequent, refusal to eat is observed, and coma and death quickly follow. Adult pigs are more tolerant of low temperatures.

Key words: pigs, temperature, geothermal ventilation, physiological parameters, thermoneutral zone, hyperthermia, welfare.

References

1. Kramarenko, S.S., Lugovoy, S.I., Lykhach, A.V., & Kramarenko O.S. (2019). *Analiz biometrychnykh danykh u rozvedenni ta seleksii tvaryn [Analysis of biometric data in animal breeding and selection]*. Mykolayiv: MNAU, 211 [in Ukrainian].
2. *Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannia. Svyarski pidpriemstva (kompleksy, fermy, mali fermy), VNTP-APK – 02.05. [Departmental norms of technological design Pig enterprises (complexes, farms, small farms), VNTP-APK - 02.05]*. K.: Minahropolityky Ukrainy, (2005), 98. Retrieved from: https://lugdps.gov.ua/images/bezpechnist_vetrynariya/Svyarski-pidpriemstva-VNTP-APK-02.05.pdf [in Ukrainian].
3. Nakaz Ministerstva rozvytku ekonomiky, torhivli ta sil's'koho hospodarstva Ukrayiny № 224 vid 08.02.2021 «Pro zatverdzhennya vymoh do blahopoluchchya sil's'kohospodars'kykh tvaryn pid chas yikh utrymannya» [On Approval of Requirements for the Welfare of Farm Animals During Their Keeping]. Zareyestrovanyy vid 18.02.2021 Ministerstvom Yustytisiy Ukrainy № 206/35828 [in Ukrainian].
4. Adebisi, O.A., Muibi, M.A., & Alaba, O. (2017). Nigerian Performance and behavioural characteristics of Pigs as affected by types and duration of evaporative cooling. *Nigerian Journal of Animal Science*. 19(2):103-113.
5. Botto, L., Lendelová, J., Strmeňová, A., & Reichstädterová, T. (2014) The effect of evaporative cooling on climatic parameters in a stable for sows. *Research in Agricultural Engineering*. 60:85-91. doi: <https://doi.org/10.17221/40/2013-RAE>
6. Bracke, M.B.M. (2011). Review of wallowing in pigs: Description of the behaviour and its motivational basis. *Applied Animal Behaviour Science*. 132(1-2):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.01.002>
7. Council Directive 2008/120/EC of 18 December 2008 laying down minimum standards for the protection of pigs (Codified version). *Official Journal of the European Union*. L 47. 18.2.2009. P. 5–13.
8. Council Directive 2010/63/EC of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. *Official Journal of the European Union*. L 276/33. 22.09.2010. P. 15–47.
9. Dekker, M. (2015). The effect of temperature and activity patterns on lying behaviour and space use in conventional housed fattening pigs. PhD Thesis. Wageningen University. Wageningen. 165 p.

10. Gody, D., Herbut, P., Angrecka, S., & Corrêa Vieira, F.M. (2020). Use of Different Cooling Methods in Pig Facilities to Alleviate the Effects of Heat Stress – A Review. *Animals*. 10(9):1459. <https://doi.org/10.3390/ani10091459>
11. Gourdine, J-L., Rauw, W.M., Gilbert, H., & Pouillet, N. (2021). The Genetics of Thermoregulation in Pigs: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 8:770480. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.770480>
12. Huynh, T.T.T., Aarnink, A.J.A., Truong C.T., Kemp B., & Verstegen M.W.A. (2006). Effects of tropical climate and water-cooling methods on growing pigs' responses. *Livestock Science*. 104(3):278-291. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.029>
13. Huynh, T.T.T., Aarnink, A.J.A., Heetkamp, M.J.W., Verstegen, M.W.A., & Kemp, B. (2007). Evaporative heat loss from group-housed growing pigs at high ambient temperatures. *Journal of Thermal Biology*. 32(5):293-299. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2007.03.001>
14. Kanis, E., van den Belt, H., Groen, A.F., Schakel, J., & de Greef, K.H. (2004). Breeding for improved welfare in pigs: a conceptual framework and its use in practice. *Animal Science*. 78(2): 315–329. <https://doi.org/10.1017/S1357729800054102>
15. Lykhach, A., Lykhach, V., Barkar, Y., Shpetny, M., & Kucher, O. (2023). Dependence between behavioural acts and sperm parameters of boars of modern and local breeds of Ukraine. *Journal of Animal Behavioural and Biometeorology*. 11(1) : e2023008, <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.23008>
16. Marchant-Forde, J.N., & Rodenburg, T.B. (2016). Future directions for applied ethology. In: Brown J, Seddon Y, Appleby M, editors. *Animals and Us: 50 Years and More of Applied Ethology*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers. P. 297–318.
17. Nienaber, J.A., & Brown Brandl, T.M. (2009). Heat Stress Effects on Growing-Finishing Swine. In *Proceedings of the 25th Annual Carolina Swine Nutrition Conference*, Raleigh, NC, USA. P. 654–687.
18. Parois, S.P., Cabezón, F.A., Schinckel, A.P., Johnson, J.S., Stwalley, R.M., & Marchant-Forde J.N. (2018). Effect of Floor Cooling on Behavior and Heart Rate of Late Lactation Sows Under Acute Heat Stress. *Frontiers in Veterinary Science*. 5:223. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00223>
19. Ross, J.W., Hale, B.J., Gabler, N.K., Rhoads, R.P., Keating, A.F., & Baumgard, L.H. (2015). Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*. 55(12):1381-1390. <https://doi.org/10.1071/AN15267>

УДК 636.4.084.05:338.432

Коробань М. П.

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії III року навчання,
кафедра технологій у птахівництві, свинарстві та вівчарстві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна

E-mail: marikoroban@gmail.com**ORCID:** 0009-0003-1763-2629**Лихач В. Я.**

доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри технологій у птахівництві, свинарстві та вівчарстві
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна

E-mail: vylykhach80@nubip.edu.ua**ORCID:** 0000-0002-9150-6730**ВІДГОДІВЕЛЬНІ ЯКОСТІ МОЛОДНЯКУ СВИНЕЙ СУЧАСНИХ ГЕНОТИПІВ
ЗА РІЗНИХ ВАГОВИХ КОНДИЦІЙ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ****Анотація**

Забезпечення людей продуктами харчування є найважливішою економічною та політичною проблемою будь-якої країни світу. Тому збільшення виробництва продукції тваринництва, зокрема свинарства, як основного джерела поповнення білка в харчуванні людини, завжди є актуальною проблемою. Ефективність відгодівлі свиней залежить від багатьох факторів, головні з яких умови годівлі та вирощування, породна приналежність, вік і жива маса тварин при реалізації. Дослідження проводилися у 2023 році в умовах господарства СВК «Агрофірма «Міг-Сервіс-Агро» Миколаївської області. В рамках науково-господарського дослідження використано 120 голів відгодівельного молодняку свиней, який був розділений на три групи: I група – поєднання свиноматок (ВБ×Л) з кнурами породи дюрк (Д) канадської селекції (Genesus); II група – поєднання свиноматок (ВБ×Л) з кнурами породи н'єтрен (П) французької селекції (Ахіот); III група – поєднання маток (ВБ×Л) з кнурами термінальної лінії Махтер (Мк). Показники відгодівельних якостей вивчалися та фіксувалися при досягненні вагових кондицій 80, 100, 120 та 140 кг. Умови годівлі, напування, утримання, догляду і профілактики тварин в експерименті відбувалися відповідно до вітчизняного законодавства «Вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання». Встановлена певна специфічність розвитку відгодівельних якостей залежно від вагових кондицій в розрізі поєднання порід та ліній свиней спеціалізованих м'ясних генотипів. За вагових кондицій 80 та 100 кг вищими відгодівельними характеристиками тварини III групи (♀(ВБ×Л)×♂Мк), вони досягали живої маси 100 кг у 152,73 доби, що на 0,95–5,37 дів раніше аналогів I та II груп ($p < 0,001$); середньодобові прирости підсвинків цього поєднання становили – 941,0 г, з кращою конверсією корму – 2,64 кг. При відгодівлі молодняку свиней до живої маси 120–140 кг отримана інша тенденція. Молодняк поєднання ♀(ВБ×Л)×♂Д характеризувався вищими: середньодобовим приростом – 900,32–901,27 г і рівнем індексу відгодівельних якостей 30,8–31,9 балів, за вірогідної переваги над аналогами з кровністю породи н'єтрен та термінальної лінії Махтер.

Ключові слова: свинарство, породність, продуктивність, віковий період, вага, приріст живої маси, конверсія корму, індекс.

Вступ. Згідно з офіційними статистичними звітами, світове виробництво свинини щорічно збільшується на 2–3%, поряд із загальним збільшенням поголів'я свиней, поліпшенням умов годівлі та вдосконаленням галузі, рушійною силою цього зростання є селекція [11, 12]. Поруч з цим, ефективність відгодівлі залежить ще від ряду факторів, а саме породна приналежність, вік і жива маса тварин при забої [16, 19–21]. Адже, в сучасних умовах господарювання генетичні компанії орієнтують виробництво своїх комерційних генотипів (ремонтне поголів'я) на реалізацію їх генетичного потенціалу за показниками росту і м'ясних якостей саме у різні вікові періоди та вагові кондиції, відповідно соціального попиту і ринку збуту.

За інформацією О. Г. Михалко зі співавторами [7, 21] формування продуктивних якостей в процесі відгодівлі свиней різних генотипів відбувається не однаково і має певні відмінності як у вікові періоди, так і за різних вагових параметрів. Селекція на м'ясність і швидкість росту за мінімальних витрат кормів та ресурсів були завжди ведучими ознаками практично для всіх основних порід, типів й ліній у сучасному свинарстві.

Як зазначає В. М. Нечмілов зі співавторами [9] в сучасних умовах високоінтенсивного індустріального свинарства надважливим чинником є якісні показники свинини, які залежать від різних факторів, зокрема віку та передзабійної маси [2, 15, 17, 23].

За даними провідних практиків [3, 13, 14, 18, 22] сучасне виробництво товарної свинини зосереджено на отриманні трипородних фінальних гібридів ультрам'ясного напрямку продуктивності на основі поєднання

двопородних свиноматок (велика біла × ландрас) з кнурами спеціалізованих м'ясних порід, типів і ліній (дюрок, п'єтрен, макстер тощо), що вимагає постійного вивчення та оцінки їх продуктивності у різних виробничих умовах.

Мета роботи. Вивчити відгодівельні якості свиней сучасних генотипів в умовах промислової технології виробництва свинини за різних вагових кондицій.

Матеріал і методи. Науково-господарські експерименти проводилися протягом 2023 року в умовах сільськогосподарського виробничого кооперативу «Агрофірма «Миг-Сервіс-Агро» Миколаївської області. Виробництво продукції свинарства в умовах підприємства відповідало умовам промислової технології з відповідною організацією технологічних процесів.

В рамках науково-господарського дослідження використано 120 голів відгодівельного молодняку свиней, який був розділений на три групи. Молодняк I групи, отриманий від поєднання двопородних свиноматок (ВБ×Л) з кнурами породи дюрок (Д) канадської селекції (*Genesus*), II групу сформовано молодняком, отриманого від поєднання свиноматок (ВБ×Л) з кнурами породи п'єтрен (П) французької селекції (*Axiom*) і III групу представляли свині поєднання маток (ВБ×Л) з кнурами термінальної лінії *Maxter* (Мк). Показники відгодівельних якостей вивчали та фіксували при досягненні вагових кондицій 80, 100, 120 та 140 кг.

У піддослідних тварин проводили вивчення відгодівельних ознак: вік досягнення живої маси 80, 100, 120 та 140 кг (діб), абсолютний і середньодобовий приріст на відгодівлі (г), кількість спожитого корму і конверсію корму (кг) піддослідних тварин при досягненні ними передзабійної живої маси 80, 100, 120 і 140 кг за відповідними методиками [6].

З метою узагальнення основних відгодівельних ознак піддослідних свиней було використано комплексний індекс відгодівельних якостей за формулою [5]:

$$I = \frac{A^2}{B \times C}$$

де: I – індекс відгодівельних якостей, балів; A – валовий приріст за період відгодівлі, кг; B – кількість діб відгодівлі, діб; C – витрати корму на 1 кг приросту, кг.

Штучне осіменіння свиноматок піддослідних груп відбувалося відповідно до схеми дослідження, за допомогою вагінального способу, одноразовими катетерами фірми «*MS Schippers*» (Нідерланди), свіжою розведеною спермою кнурів, які знаходились в пункті штучного осіменіння господарства.

Умови утримання піддослідних тварин організовано згідно ВНТП-АПК – 02.05 «Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)» [4] та рекомендаціям генетичних компаній щодо утримання.

Годівля молодняку різних вагових кондицій та віку, здійснювалась спеціалізованими комбікормами двох видів: «гровер» і «фінішер», виготовленому у власному комбікормовому цеху відповідно до стратегій годівлі, розроблених у господарстві для тварин різного віку та маси [10, 11]. Для балансування раціонів молодняку на відгодівлі використовували білково-мінерально-вітамінні добавки й премікси виробництва компанії ТОВ «Коудайс Україна». Напування тварин проводили за допомогою соскових автонапувалок, що розташовувалися на відповідних рівнях залежно від віку тварин. Всі ветеринарні обробки були ідентичними для свиней піддослідних груп відповідно прийнятій схемі в господарстві.

Мікроклімат приміщення, в якому утримували піддослідних тварин, підтримувався за допомогою системи негативної вентиляції, що складається з осьового вентилятора, розташованого на стіні приміщення, і припливного клапана, розташованого на протилежній стіні. Узгодження роботи яких відбувалося за допомогою мікропроцесорів підтримання параметрів мікроклімату. Також до системи вентиляції були підключені зрошувач повітря, який керувався за допомогою цих же мікропроцесорів.

Видалення гною з приміщення відбувалося за допомогою вакуумно-самопливної системи періодичної дії, яка включала в себе ванни на всю площу станка та систему трубопроводів, через які видалялися гнойові стоки в проміжні гнойозбірники за межами приміщення.

Умови годівлі, напування, утримання, догляду і профілактики тварин в експерименті відбувалися відповідно до вітчизняного законодавства «Вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання» (Закон України «Про ветеринарну медицину», 2021) [8].

Експериментальні дані оброблені методом варіаційної статистики із використанням комп'ютерної техніки та пакетів прикладного програмного забезпечення *MS Excel 2000* та *Statistica V. 5.5* [1].

Виклад основного матеріалу дослідження. Молодняк свиней різних порід і поєднань за однакових умов утримання та годівлі можуть демонструвати різні показники росту й різноманітну динаміку накопичення основних тканин у тілі. Свині окремих поєднань відрізняються за величиною приросту, напруженістю і тривалістю росту, великорослістю, а отже, й за скороспілістю, що не може не позначитися на рівні й напрямі їх продуктивності [11].

Відповідно схеми досліджень перша вагова категорія була 80 кг і результати відгодівельних якостей молодняку свиней представлені у табл. 1. Встановлено, що при постановці на відгодівлю у віці 11 тижнів піддослідний молодняк мав різну живу масу в розрізі піддослідних груп. Так, молодняк, де батьківською формою були кнури породи п'єтрен у віці 77 та 133 доби, мав вищі показники живої маси 29,88 та 81,05 кг ($p < 0,05$). При відгодівлі до 80 кг живої маси найвищі прирости, отримані тваринами III групи поєднання ♀(ВБ×Л)×♂Мк – 931,25 г. Тварини

Таблиця 1. Відгодівельні якості свиней різних генотипів при відгодівлі до живої маси 80 кг, (n = 40), $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$

Показник	Група		
	I ♀(ВБ×Л)×♂Д	II ♀(ВБ×Л)×♂П	III ♀(ВБ×Л)×♂Мк
Середня жива маса поросят при постановці на відгодівлю у віці 77 діб, кг	27,53±0,206	29,88±0,218***	28,85±0,210**a
Середня жива маса свиней при знятті з відгодівлі, кг	78,25±0,337	81,05±0,295***	81,00±0,200***
Тривалість відгодівлі, діб	56	56	56
Вік тварин при знятті з відгодівлі, діб	133	133	133
Абсолютний приріст живої маси, кг	50,73±0,221	51,18±0,205	52,15±0,204***b
Середньодобовий приріст живої маси, г	905,80±3,941	913,84±3,667	931,25±3,648***
Споживання корму на 1 гол., кг	2,43	2,41	2,36
Конверсія корму, кг	2,68	2,63	2,54
Вік досягнення живої маси кг, діб	134,98±0,380	131,88±0,322***	131,91±0,316***
Індекс відгодівельних якостей, балів	18,9	17,8	19,1

Тут і далі примітки: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ (у порівнянні тварин I групи з аналогами II і III групи); a – $p < 0,05$; b – $p < 0,01$; c – $p < 0,001$ (у порівнянні тварин III групи з аналогами II групи).

даного генотипу завдяки вищим середньодобовим приростам витрачали і менше кормів на одиницю приросту – 2,54 кг. Більш узагальнюючим показником для характеристики відгодівельних якостей є розрахований індекс відгодівельних якостей, що виявився вищим у підсвинків III групи і становив – 19,1 балів, й вищий за аналогів I та II групи на 0,2 і 1,3 балів.

Дослідження відгодівельних якостей молодняку свиней різних генотипів за вагової кондиції 100 кг представлені в таблиці 2. Вік досягнення живої маси 100 кг є уніфікованим показником для оцінки відгодівельних якостей молодняку свиней. Адже, чим швидше тварина досягає здатної кондиції тим менше витрачається ресурсів (корми, витрати праці, тощо) на її вирощування. Встановлено, що присутня вірогідна різниця в показнику скороспілості в розрізі піддослідних груп. Отже, більш скороспілими виявилися підсвинки III групи, отримані від поєднання двопородних свиноматок (ВБ×Л) з кнурами термінальної лінії *Maxter*, і вони досягали живої маси 100 кг за 152,73 доби, що вірогідно вище за ровесників з кровністю породи дюрорк (I група) на 5,37 доби ($p < 0,001$) та підсвинків з кровністю п'єтрен на 0,95 доби.

В даній ваговій категорії підсвинки III групи відрізнялися і вищими середньодобовими приростами – 941,0 г, за кращої конверсії корму адже, при їх вирощуванні на один кілограм приросту витрачалось менше кормів. Зважаючи на цю тенденцію відповідно виявлено і вищий показник індексу відгодівельних якостей – 25,8 балів.

За результатами оцінки відгодівельних якостей молодняку при досягненні живої маси 80 та 100 кг спостерігається деяка тенденція, а саме на цих проміжках відгодівлі відзначаються вищими показниками підсвинки поєднання ♀(ВБ×Л)×♂Мк (III група), гіршими – тварини поєднання ♀(ВБ×Л)×♂Д (I група), а тварини II групи (♀(ВБ×Л)×♂П) займали проміжне положення по представленим ознакам відгодівельних якостей.

При відгодівлі до більш важких кондицій спостерігаємо зміну раніше виявленій тенденції адже, молодняк, отриманий від поєднання де батьківською формою є дюрорк канадської селекції (*Genesus*) демонстрував достатньо високі показники енергії росту при мінімальних витратах кормів (табл. 3).

Таблиця 2. Відгодівельні якості свиней різних генотипів при відгодівлі до живої маси 100 кг, (n = 35), $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$

Показник	Група		
	I ♀(ВБ×Л)×♂Д	II ♀(ВБ×Л)×♂П	III ♀(ВБ×Л)×♂Мк
Середня жива маса поросят при постановці на відгодівлю у віці 77 діб, кг	27,53±0,206	29,88±0,218***	28,85±0,210**a
Середня жива маса свиней при знятті з відгодівлі, кг	96,60±0,420	100,51±0,442***	101,34±0,350***
Тривалість відгодівлі, діб	77	77	77
Вік тварин при знятті з відгодівлі, діб	154	154	154
Абсолютний приріст живої маси, кг	68,97±0,342	70,60±0,389**	72,46±0,302***c
Середньодобовий приріст живої маси, г	895,73±4,438	916,88±5,057**	941,00±3,925***b
Споживання корму на 1 гол., кг	2,61	2,55	2,48
Конверсія корму, кг	2,91	2,78	2,64
Вік досягнення живої маси кг, діб	158,10±0,512	153,68±0,469***	152,73±0,340***
Індекс відгодівельних якостей, балів	21,2	23,3	25,8

Таблиця 3. Відгодівельні якості свиней різних генотипів при відгодівлі до живої маси 120 кг, (n = 30), $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$

Показник	Група		
	I ♀(ВБ×Л)×♂Д	II ♀(ВБ×Л)×♂П	III ♀(ВБ×Л)×♂Мк
Середня жива маса поросят при постановці на відгодівлю у віці 77 діб, кг	27,53±0,206	29,88±0,218***	28,85±0,210** ^a
Середня жива маса свиней при знятті з відгодівлі, кг	122,10±0,366	121,00±0,263*	120,53±0,270**
Тривалість відгодівлі, діб	105	105	105
Вік тварин при знятті з відгодівлі, діб	182	182	182
Абсолютний приріст живої маси, кг	94,53±0,389	91,17±0,325***	91,70±0,311***
Середньодобовий приріст живої маси, г	900,32±3,702	868,25±3,100***	873,33±2,965***
Споживання корму на 1 гол., кг	2,76	2,86	2,85
Конверсія корму, кг	3,07	3,30	3,26
Вік досягнення живої маси кг, діб	179,75±0,391	180,73±0,350	181,33±0,380**
Індекс відгодівельних якостей, балів	30,8	24,0	24,6

Отже, при відгодівлі до живої маси 120 кг відмічаємо, що молодняк I групи на 0,98 та 1,58 діб раніше досягав зазначеної вагової кондиції. При цьому молодняк з кровністю канадського дюрка характеризувався вищими середньодобовими приростами – 900,32 г, що вірогідно вище за представників II і III груп на 32,07 та 26,99 г ($p < 0,001$), відповідно. За період відгодівлі до ваги 120 кг молодняк свиней II групи споживав менше комбікорму – 2,76 кг на голову, що на 3,26-3,62% менше за аналогічні показники свиней II та III груп. Вищі прирости при менших витратах кормів дозволили отримати кращий показник конверсії корму у молодняку II групи – 3,07 кг.

Узагальнюючий індекс відгодівельних якостей в розрізі груп з віком – збільшується і у ваговій кондиції 12 кг коливався в межах 24,0-30,8 балів. Вищим значенням індексу відгодівельних якостей характеризувалися свині I групи (♀(ВБ×Л)×♂Д) – 30,8 балів.

Слід зазначити, що дослідний генотип (♀(ВБ×Л)×♂Д) зберігав високу інтенсивність росту навіть при відгодівлі до живої маси 140 кг, на відміну від аналогів з кровністю породи п'єтрен і термінальних кнурів лінії *Maxter* (табл. 4).

При знятті з відгодівлі у віці 203 доби вищими показниками живої маси характеризувалися свині I групи – 141,08 кг, що на 1,6 і 1,4% ($p < 0,01$) більше за ровесників II та III групи. Тенденція до збереження високої інтенсивності росту прослідковується в усіх групах, але більше виражена у молодняку I групи, який при досягненні живої маси 140 кг відзначався приростами на достатньо високому рівні – 901,27 г. Відгодівля молодняку свиней до високих вагових кондицій більш доцільна для тварин поєднання (♀(ВБ×Л)×♂Д) адже, вони зберігають високу тенденцію індексу відгодівельних якостей на рівні – 31,9 балів. На нашу переконливу думку, така інтенсивність росту свиней породи дюрка пов'язана генетичними і фізіологічними особливостями. Оскільки тварини характеризуються спокійним норомом і флегматичним типом вищої нервової діяльності, то інтенсивність їхнього росту при досягненні живої маси 80 і 100 кг, у порівнянні з ровесниками є нижчою. Разом з тим, при досягненні цих тварин до більш важких вагових кондицій спрацьовує фізіологічний «накопичувальний» ефект, внаслідок чого інтенсивно росте м'язовий компонент з помірним відкладенням жирової тканини, ймовірно за рахунок скупчення

Таблиця 4. Відгодівельні якості свиней різних генотипів при відгодівлі до живої маси 140 кг, (n = 25), $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$

Показник	Група		
	I ♀(ВБ×Л)×♂Д	II ♀(ВБ×Л)×♂П	III ♀(ВБ×Л)×♂Мк
Середня жива маса поросят при постановці на відгодівлю у віці 77 діб, кг	27,53±0,206	29,88±0,218***	28,85±0,210** ^a
Середня жива маса свиней при знятті з відгодівлі, кг	141,08±0,526	138,88±0,307**	139,12±0,285**
Тривалість відгодівлі, діб	126	126	126
Вік тварин при знятті з відгодівлі, діб	203	203	203
Абсолютний приріст живої маси, кг	113,56±0,566	109,08±0,351***	110,32±0,320**
Середньодобовий приріст живої маси, г	901,27±4,491	865,71±2,784***	875,56±2,540**
Споживання корму на 1 гол., кг	2,89	3,01	2,98
Конверсія корму, кг	3,21	3,48	3,40
Вік досягнення живої маси кг, діб	201,96±0,522	204,49±0,384**	204,17±0,346**
Індекс відгодівельних якостей, балів	31,9	27,2	28,4

адипоцитів. Такий рівномірний розподіл тканин тіла свиней сприяє «мармуровості» м'язовій тканині, внаслідок чого спостерігається її ніжність і соковитість, що є бажаним для кулінарної обробки свинини. Чого не можна стверджувати за ровесників II і III груп, оскільки при відгодівлі тварин до більш важких кондицій ріст їх м'язового компоненту уповільнюється, а подекуди гальмується й відбувається численне утворення стромального компоненту, за рахунок розгалуженої сітки колагенових волокон, що, у свою чергу, впливає на технологічну обробку свинини.

Висновки. В результаті науково-господарського дослідження встановлено, що вищі відгодівельні ознаки за даних варіантів поєднання при відгодівлі до кондиції 100 кг мав молодняк, одержаний від поєднання двопородних свиноматок з термінальними кнурми лінії *Maxter*, узагальнюючий індекс відгодівельних якостей у цього поєднання (III група) становив – 25,8 балів.

Експериментально доведена доцільність відгодівлі молодняку свиней поєднання (♀(ВБ×Л)×♂Д) до високих вагових кондицій 120–140 кг, оскільки вони зберігали високу інтенсивність росту і характеризувалися індексом відгодівельних якостей на рівні 30,8–31,9 балів.

Перспективи досліджень. Потребує деталізованого вивчення м'ясних якостей свиней представлених породних поєднань сучасних генотипів за різних вагових кондицій. Виявити специфіку формування м'ясних ознак за вказаною методичною схемою.

Список використаних джерел

1. Аналіз біометричних даних у розведенні та селекції тварин : навчальний посібник / С. С. Крамаренко, С. І. Луговий, А. В. Лихач, О. С. Крамаренко. Миколаїв: МНАУ, 2019. 211 с.
2. Бірта Г. О., Бургу Ю. Г. Відгодівельні якості свиней різних генотипів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво, СНАУ*. 2022. Вип. 2. С. 3–7.
3. Ващенко О. В. Економічна ефективність використання гетерозису за промислового схрещуванні свиней. *Збірник наукових праць «Технологія виробництва та переробки продукції тваринництва»*. Біла Церква, 2017. №1 (134) С. 32–37.
4. Відомчі норми технологічного проектування. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми), ВНТП-АПК – 02.05. К. : Мінагрополітики України, 2005. 98 с. URL: https://lugdpss.gov.ua/images/bezpechnist_veterynariya/Svynarski-pidpruyemstva-VNTP-APK-02.05.pdf
5. Ладика В. І., Хмельничий Л. М., Повод, М. Г. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: підручник для аспірантів. Одеса: Олді+, 2023. 244 с.
6. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві / за ред. І. І. Ібатуліна і О. М. Жуковського : посібник. К., 2017. 328 с.
7. Михалко О. Г., Повод М. Г., Кохана Л. Д., Плечко О. С., Відгодівельні та забійні якості свиней ірландського походження за різної інтенсивності росту на відгодівлі. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Тваринництво», СНАУ*. 2020. Вип. 4. С. 50–58. <https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2020.4.8>
8. Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України № 224 від 08.02.2021 «Про затвердження вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання». Зареєстр. від 18.02.2021 Міністерством Юстиції України, № 206/35828.
9. Нечмілов В. М., Повод М. Г. Відгодівельна продуктивність свиней за різних термінів дорощування та використання сухого і рідкого типів годівлі *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Тваринництво», СНАУ*. 2018. Вип. 7 (35). С. 328–355.
10. Норми годівлі, раціони і поживність кормів для різних видів сільськогосподарських тварин / Г. В. Проваторов, В. І. Ладика, Л. В. Бондарчук [та ін.]. Суми: ТОВ ВДТ «Університетська книга», 2007. 488 с.
11. Оптимізація технологічних рішень утримання і годівлі свиней в умовах промислової технології: монографія / В. Я. Лихач, М. Г. Повод, М. Б. Шпетний, В. М. Нечмілов, А. В. Лихач, О. Г. Михалко, Є. В. Баркар, Л. Г. Леньков, О. О. Кучер. Миколаїв : Іліон, 2023. 518 с., 111 табл., 97 рис.
12. Сусол Р. Л., Гарматюк К. В., Халак В. І. Оптимізація системи розведення і годівлі свиней м'ясного напрямку продуктивності в умовах півдня України. *Зернові культури. Дніпро*, 2018. Т. 2. № 12. С. 353–359.
13. Федяєва А. С. Відгодівля свиней при використанні різних генотипів в умовах промислового виробництва. *Науково-технічний бюлетень НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК*, Т. 6. № 1, 2018. С. 57–60. <https://bulletin-biosafety.com/index.php/journal/article/view/172>
14. Халак В. І., Гутий Б. В., Стадницька О. І. Відгодівельні та м'ясні якості молодняку свиней різного походження та інтенсивності формування у ранньому онтогенезі. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 2019. Вип. 21(91). С. 10–15. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9102>
15. Хмельничий Л. М., Вечорка В. В., Шпетний М. Б., Бордунова О. Г., Павленко Ю. М., Опара В. О. Відгодівельні та забійні якості свиней різних вагових категорій дорощених у станках на полімерній та бетонній підлозі. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво, СНАУ*. 2020. Вип. 1 (40). С. 3–10.
16. Черненко А. В. Вплив способу утримання свиноматок на продуктивні якості свиней різних генотипів: дис. ... кандидата сільськогосподарських наук : 06.02.04 / Черненко Анна Василівна. Херсон, 2006. 166 с.
17. Bashchenko, M., Boyko, A., & Vaschenko, A. (2021). Analysis of the use of industrial crossbreeding to improve the profitability of the pig industry. *EUREKA: Life Sciences*, (4), 3–8. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2021.001954>
18. Chernenko, O. M., Chernenko, O. I., Mylostyyvi, R. V., Khmeleva, O. V., Garashchenko, V. Y., Bordunova, O. G., & Dutka, V. R. (2022). The results of fattening hybrid pigs of Danish selection. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 5(1), 3-7. <https://doi.org/10.32718/ujvas5-1.01>

19. Lenoir, G., Flatres-Grall, L., Muñoz-Tamayo, R., David, I., & Friggens, N. C. (2022). Disentangling the dynamics of energy allocation to provide a proxy of robustness in fattening pigs. *bioRxiv*, 2022-10.
20. Lopez, B. I., Viterbo, V., Song, C. W., & Seo, K. S. (2019). Estimation of genetic parameters and accuracy of genomic prediction for production traits in Duroc pigs. *Czech Journal of Animal Science*, 64 (4), 160–165. <https://doi.org/10.17221/150/2018-cjas>
21. Mykhalko, O., Povod, M., Sokolenko, V., Verbelchuk, S., Shuplyk, V., Shcherbatiuk, N., Melnyk, V., & Zasukha, L. (2022). The influence of the castration method on meat cuts indicators of pig carcasses. *Scientific Papers. Series Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development*, 22(3), 451–458. https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.22_3/Art48.pdf
22. Tinh, N. H., Hao, T. V., & Bui, A. P. N. (2021). Genetic parameters and litter trait trends of Danish pigs in South Vietnam. *Animal Bioscience*, 34(12), 1903–1911. <https://doi.org/10.5713/ab.20.0692>
23. Wu, F., Vierck, K. R., DeRouchey, J. M., O'Quinn, T. G., Tokach, M. D., Goodband, R. D., Dritz, S. S., & Woodworth, J. C. (2017). A review of heavy weight market pigs: status of knowledge and future needs assessment. *Anim. Sci.*, Vol. 1, P. 1–15. doi:10.2527/tas2016.0004

Koroban M. P.

Graduate of higher education with the degree of Doctor of Philosophy, III rd yr. 's.
Department of Technology in Poultry, Pig and Sheep Breeding,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine

E-mail: marikoroban@gmail.com

ORCID: 0009-0003-1763-2629

Lykhach V. Ya.

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Head of the Department of Technology in Poultry, Pig and Sheep Breeding,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine

E-mail: vylykhach80@nubip.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9150-6730

FATTENING QUALITIES OF YOUNG PIGS OF MODERN GENOTYPES AT DIFFERENT WEIGHT CONDITIONS UNDER INDUSTRIAL TECHNOLOGY

Abstract

Providing people with food is the most important economic and political issue in any country in the world. Therefore, increasing the production of livestock products, in particular pig production, as the main source of protein in human nutrition, is always a pressing issue. The effectiveness of pig fattening depends on many factors, the main ones being feeding and rearing conditions, breed, age and live weight of animals at sale. The research was carried out in 2023 at the farm of the agricultural company «Mig-Service-Agro», Mykolayiv region. As part of the scientific experiment, 120 heads of fattening young pigs were used, which were divided into three groups: Group I – a combination of sows (WB×L) with boars of the Duroc breed (D) of Canadian selection (Genesis); Group II – a combination of sows (WB×L) with boars of the Pietrén breed (P) of French selection (Axiom); Group III – a combination of sows (WB×L) with boars of the Maxter terminal line (Mk). Indicators of fattening qualities were studied and recorded at the weight conditions of 80, 100, 120 and 140 kg. The conditions of feeding, watering, housing, care and prevention of animals in the experiment were in accordance with the national legislation «Requirements for the welfare of farm animals during their maintenance». A certain specificity of the development of fattening qualities depending on weight conditions in the context of a combination of breeds and lines of pigs of specialized meat genotypes was established. At weight conditions of 80 and 100 kg, animals of the III group (♀(WB×L)×♂Mk) were characterized by higher fattening qualities, they reached a live weight of 100 kg at 152.73 days, which is 0.95–5.37 days earlier than analogues of the I and II groups ($p < 0.001$); the average daily gain of pigs of this combination was 941.0 g, with a better feed conversion of 2.64 kg. When fattening young pigs to a live weight of 120-140 kg, a different trend was obtained. The young pigs of the combination ♀(WB×L)×♂D were characterised by higher average daily gain of 900.32–901.27 g and a level of fattening quality index of 30.8-31.9 points, with a significant advantage over analogues with Pietrene breed and the Maxter terminal line.

Key words: pig production, breeding, productivity, age period, weight, live weight gain, feed conversion, index.

References

1. Kramarenko, S.S., Lugovoy, S.I., Lykhach, A.V., & Kramarenko, O.S. (2019). *Analiz biometrychnykh danykh u rozvedenni ta seleksii tvaryn [Analysis of biometric data in animal breeding and selection]*. Mykolayiv: MNAU, 211. [in Ukrainian].
2. Birta, H.O., & Burhu, Yu.H. (2022). Vidhodivelni yakosti svynei riznykh henotypiv [Feeding qualities of pigs of different genotypes]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu. Seriya: Tvarynnytstvo, SNAU*, 2, 3–7. [in Ukrainian].
3. Vashchenko, O.V. (2017). Ekonomichna efektyvnist vykorystannia heterozyosu za promyslovoho skhreshchuvanni svynei [Economic efficiency of heterosis use in industrial pig crossbreeding]. *Zbirnyk naukovykh prats «Tekhnolohiia vyrobnytstva ta pererobky produktii tvarynnytstva»*. Bila Tserkva, 1 (134), 32–37. [in Ukrainian].
4. *Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannia. Svyinarski pidpriemstva (kompleksy, fermy, mali fermy)*, VNTP-APK – 02.05. [Departmental norms of technological design Pig enterprises (complexes, farms, small farms), VNTP-APK – 02.05]. K.:

Minahropolityky Ukrainy, (2005), 98. Retrieved from: https://lugdpss.gov.ua/images/bezpechnist_veterynariya/Svynarski-pidpryyemstva-VNTP-APK-02.05.pdf [in Ukrainian].

5. Ladyka, V.I., Khmelnychiy, L.M., & Povod, M.G. (2023). *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktii tvarynnytstva: pidruchnyk dlia aspirantiv [Technology of production and processing of livestock products: a textbook for graduate students]*. Odesa: Oldi+, 244. [in Ukrainian].

6. Ibatulin, I.I., & Zhukorskyi, O.M. (2017). *Methodology and organization of scientific research in animal husbandry [Methodology and organization of scientific research in animal husbandry]*. K., 328. [in Ukrainian].

7. Mykhalko, O.H., Povod, M.H., Kokhana, L.D., & Plechko O.S. (2020). Vidhodivelni ta zabiini yakosti svynei irlandskoho pokhodzhennia za riznoi intensyvnosti rostu na vidhodivli [Fattening and slaughter qualities of pigs of Irish origin at different growth intensities during fattening]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: «Tvarynnytstvo», SNAU*, 4, 50-58. <https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2020.4.8> [in Ukrainian].

8. Nakaz Ministerstva rozvytku ekonomiky, torhivli ta silskoho hospodarstva Ukrainy № 224 vid 08.02.2021 r. «Pro zatverdzhennia vymoh do blahopoluchchia silskohospodarskykh tvaryn pid chas yikh utrymannia» [On approval of requirements for the welfare of farm animals during their keeping]. Zareiestr. vid 18.02.2021 Ministerstvom Yustytsii Ukrainy № 206/35828. [in Ukrainian].

9. Nechmilov, V.M., & Povod, M.H. (2018). Vidhodivelna produktyvnist svynei za riznykh terminiv doroshchuvannia ta vykorystannia suchoho i rikdoho typiv hodivli [Fattening performance of pigs at different growing periods and using dry and liquid feeding types]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: «Tvarynnytstvo», SNAU*, 7 (35), 328–355. [in Ukrainian].

10. Provatorov, H.V., Ladyka, V.I., Bondarchuk, L.V., Provatorova, V.O., & Opara, V.O. (2007). *Normy hodivli, ratsiony i pozhyvnyist kormiv dlia riznykh vydiv silskohospodarskykh tvaryn [Feeding rates, rations and feed nutrition for different types of farm animals]*. Sumy: TOV VDT «Universytetska knyha», 488. [in Ukrainian].

11. Lykhach, V.Ya., Povod, M.G., Shpetny, M.B., Nechmilov, V.M., Lykhach, A.V., & Mykhalko, O.G., et al. (2023). *Optymizatsiia tekhnolohichnykh rishen utrymannia ta hodivli svynei v umovakh promyslovoi tekhnolohii [Optimization of technological solutions for keeping and feeding pigs in conditions of industrial technology: monograph]*. Mykolayiv: Ilion, 518. [in Ukrainian].

12. Susol, R.L., Harmatiuk, K.V., & Khalak, V.I. (2018). Optymizatsiia systemy rozvedennia i hodivli svynei miasnogo napriamku produktyvnosti v umovakh pivdnia Ukrainy [Optimisation of the system of breeding and feeding of meat pigs in the south of Ukraine]. *Zernovi kultury. Dnipro*, 2, 12, 353–359. [in Ukrainian].

13. Fediaieva, A.S. (2018). Vidhodivlia svynei pry vykorystanni riznykh henotypiv v umovakh promysloвого vyrobnytstva [Fattening pigs using different genotypes in the conditions of industrial production]. *Naukovo-tekhnichniy biuletyn NDTs biobezpeky ta ekolohichnoho kontroliu resursiv APK*, 6, 1, 57–60. Retrieved from: <https://bulletin-biosafety.com/index.php/journal/article/view/172> [in Ukrainian].

14. Khalak, V.I., Hutyi, B.V., & Stadnytska, O.I. (2019). Vidhodivelni ta miasni yakosti molodniaku svynei riznogo pokhodzhennia ta intensyvnosti formuvannia u rannomu ontogenezi [Feeding and meat qualities of young pigs of different origin and intensity of formation in early ontogenesis]. *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S.Z. Gzhytskoho. Serii: Silskohospodarski nauky*, 21(91), 10–15. [in Ukrainian].

15. Khmelnychiy, L.M., Vechorka, V.V., Shpetnyi, M.B., Bordunova, O.H., Pavlenko, Yu.M., & Opara, V.O. (2020). Vidhodivelni ta zabiini yakosti svynei riznykh vahovykh katehorii doroshchennykh u stankakh na polimernii ta betonni pidlozi [Fattening and slaughter qualities of pigs of different weight categories reared in pens on polymer and concrete floors]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Tvarynnytstvo, SNAU*, 1(40), 3–10. [in Ukrainian].

16. Chernenko, A.V. (2006). Vplyv sposobu utrymannia svynomatok na produktyvni yakosti svynei riznykh henotypiv [Influence of sow housing on the productive qualities of pigs of different genotypes]. *Candidate's thesis*. Kherson, 166. [in Ukrainian].

17. Bashchenko, M., Boyko, A., & Vaschenko, A. (2021). Analysis of the use of industrial crossbreeding to improve the profitability of the pig industry. *EUREKA: Life Sciences*, (4), 3–8. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2021.001954>

18. Chernenko, O.M., Chernenko, O.I., Mylostyvyi, R.V., Khmeleva, O.V., Garashchenko, V.Y., Bordunova, O.G., & Dutka, V.R. (2022). The results of fattening hybrid pigs of Danish selection. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 5(1), 3–7. <https://doi.org/10.32718/ujvas5-1.01>

19. Lenoir, G., Flatres-Grall, L., Muñoz-Tamayo, R., David, I., & Friggens, N. C. (2022). Disentangling the dynamics of energy allocation to provide a proxy of robustness in fattening pigs. *bioRxiv*, 2022-10.

20. Lopez, B.I., Viterbo, V., Song, C.W., & Seo, K.S. (2019). Estimation of genetic parameters and accuracy of genomic prediction for production traits in Duroc pigs. *Czech Journal of Animal Science*, 64 (4), 160–165. <https://doi.org/10.17221/150/2018-cjas>

21. Mykhalko, O., Povod, M., Sokolenko, V., Verbelchuk, S., Shuplyk, V., Shcherbatiuk, N., Melnyk, V., & Zasukha, L. (2022). The influence of the castration method on meat cuts indicators of pig carcasses. *Scientific Papers. Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 22(3), 451–458. https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.22_3/Art48.pdf

22. Tinh, N.H., Hao, T.V., & Bui, A P.N. (2021). Genetic parameters and litter trait trends of Danish pigs in South Vietnam. *Animal Bioscience*, 34(12), 1903–1911. <https://doi.org/10.5713/ab.20.0692>

23. Wu, F., Vierck, K.R., DeRouchey, J.M., O'Quinn, T.G., Tokach, M.D., Goodband, R.D., Dritz, S.S., & Woodworth, J.C. (2017). A review of heavy weight market pigs: status of knowledge and future needs assessment. *Anim. Sci.*, 1, 1–15. doi:10.2527/tas2016.0004



ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 656.051

Горбачов П. Ф.

*доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри транспортних систем і логістики
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Харків, Україна
E-mail: gorbachov.pf@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8180-4072*

Пронін С. В.

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних систем
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Харків, Україна
E-mail: sergiy9977@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7475-621X*

Чижик В. М.

*кандидат технічних наук,
асистент кафедри транспортних систем і логістики
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Харків, Україна
E-mail: chyzhyk88@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0518-5246*

Токмиленко Т. Т.

*старший викладач кафедри транспортних систем і логістики
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Харків, Україна
E-mail: tetyana@tokmylenko.com
ORCID: 0009-0006-2542-1452*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СМУГИ РУХУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ПРИ РУСІ БЕЗ ОБГОНІВ

Анотація

Дослідження умов, які виникають при русі групи автомобілів по смузі руху без обгонів показало, що загальноприйняте визначення пропускної спроможності, як максимально можливої кількості транспортних засобів, що може пройти через поперечний переріз смуги автодороги за одиницю часу, недостатньо інформативно. Це призводить до того, що фактична інтенсивність транспортних потоків перевищує пропускну спроможність на багатьох ділянках автомобільних доріг різних країн, чого не має бути, виходячи з її формулювання. У такому вигляді цей показник також не відображає якість обслуговування учасників руху на ділянці, досягнення високого рівня якого є основною метою створення і функціонування автомобільних доріг.

За допомогою методу ідеалізації показано, що загальний час подолання цільною групою транспортних засобів деякої односмугової ділянки автомобільної дороги ненульової довжини без обгонів і випереджень, який починається з моменту перетину початку ділянки першим транспортним засобом групи і закінчується перетином початку ділянки останнім з них, залежить лише від швидкості найповільнішого члена групи. При цьому передбачається, що у вільних умовах ці транспортні засоби рухалися би з різною швидкістю обраною кожним водієм індивідуально, виходячи з технічних характеристик керованого ним засобу, дорожніх умов і власних побажань, що цілком відповідає реальному стану руху на ділянках доріг у багатьох країнах, де проводились відповідні дослідження.

У роботі обґрунтовується необхідність обліку довжини ділянки при визначенні її пропускної спроможності, як такої інтенсивності руху, при якій на ділянці забезпечуються задані на певному рівні якості умови руху транспортних засобів. Як основний показник, що відображає ці умови, запропоновано використовувати швидкість вільного руху, яка відображає переваги водіїв у транспортному потоці.

Ключові слова: автомобільна дорога, закон розподілу швидкості, інтенсивність руху, пропускна спроможність, смуга руху, транспортний потік.

Вступ. Основою для розрахунків у математичних моделях багатьох об'єктів зі сфери організації дорожнього руху (ОДР) нині є пропускна спроможність (ПС) смуги руху (СР) на автомобільних дорогах (АД) або міських вулицях. На її основі визначається потрібна потужність проєктованих транспортних об'єктів, моделюються процеси функціонування транспортних мереж, прогнозуються транспортні потоки (ТП) на мережі, оцінюється вартість поїздок тощо.

Значення ПССР є визначальним для оцінки обсягу інвестицій у будівництво АД і, враховуючи виключно високу вартість такого будівництва, значимість правильних орієнтирів з ПС СР, для виконання розрахунків на етапі проєктування складно переоцінити. Для розрахунку параметрів АД, що проєктуються, необхідно мати надійну оцінку ПС, яка відображає суттєві особливості процесу дорожнього руху (ДР), чого існуючий рівень знань у цій сфері поки що не забезпечує.

Нині найчастіше використовуються значення ПС СР, які наводяться у нормативній літературі, як вітчизняної [5], так і іноземної [7, 9]. Більшістю інженерів вони сприймаються як цілком прийнятні, проте їх порівняння з фактичною інтенсивністю руху на АД у різних місцях та багатьох країнах показує, що інтенсивність ТП у багатьох випадках перевищує нормативну ПС СР [4].

У цьому не було нічого незвичайного, якби під ПС СР не розумілася би максимально можлива кількість транспортних засобів (ТЗ), яка може пройти через поперечний переріз смуги АД за одиницю часу [4]. При такому її визначенні, випадки перевищення фактичної інтенсивності ТП пропускної спроможності СР, безумовно, викликають сумніви у правильності як нормативних значень ПС, так й власне самого визначення.

Це вимагає проведення досліджень ПС СР на об'єкті, який допоможе висвітлити специфічні особливості процесу обслуговування учасників руху автомобільними дорогами.

Огляд існуючих підходів до оцінки ПС АД. Хоча деякі вчені намагались пояснити випадки невідповідності загальноприйнятого визначення ПС реальним даним, або хоча б надати їм сенсу, в основному вони сходяться до того, що це стани, в яких скупчення ТЗ заважає їх нормальному руху, тобто зменшує швидкість руху (ШР).

Однак, при фіксації на автомагістралях США та Австралії значень інтенсивності ТП, що перевищують 2000 од./год [7, 9], жодного скорочення (ШР) ТЗ не відзначалося. Тобто умови руху там не були занадто ускладнені, що не свідчить про подолання проблеми суперечливості визначення ПС.

Добре вивченою величиною, яка пройшла багаторазову практичну перевірку, є потік насичення, тобто ПС СР на регульованому перехресті. Зараз загальним консенсусом для руху ТЗ в нормальних умовах, є значення потоку насичення у 1900 од./год, що відображено в багатьох нормативних документах різних країн, наприклад, [10]. Така визначеність обумовлена циклічним характером руху ТЗ на регульованих перехрестях і простотою фіксації їх кількості, яка залишає перехрестя протягом дозволяючого сигналу світлофора. Завдяки цьому завжди можна отримати достатньо велику кількість значень інтенсивності роз'їзду автомобілів на перехресті. Це дозволяє отримувати статистично надійні оцінки потоку насичення, за наявності не пустої черги ТЗ перед перехрестям наприкінці дозволяючого сигналу, а черга ТЗ забезпечує наявність максимально щільного потоку на під'їзді до перехрестя, що відповідає умовам, за яких оцінюється ПС СР.

Інша справа – ділянка АД з однаковими умовами руху по ній, на яку не накладається інших обмежень. Тут можна зафіксувати лише кількість ТЗ, які проїхали ділянкою за деякий період часу, що найчастіше робиться в якійсь одній її точці. При цьому спеціальні засоби забезпечення щільного потоку, такі як світлофор на регульованому перехресті, на ділянці АД відсутні, виходячи з умови сталості його характеристик по всій довжині. А така умова є очевидною априорі, оскільки різні транспортні характеристики ділянки, також означатимуть і різну ПС на її довжині.

У посібнику [7] при розгляді міських вулично-дорожніх мереж сформульовано положення про те, що ПС вулиці визначається ПС регульованих перехресть, які на ній знаходяться. Щодо цілої вулиці, як елемента міської транспортної мережі, це твердження не викликає жодного сумніву. Але якщо від міської вулиці перейти до ділянки вулично-дорожньої мережі, яка має однакове значення, як у містах, так і за їх межами, то це поняття необхідно уточнити. У роботі [1] таке уточнення зроблено, для тих самих міських умов – ділянкою вулиці (дороги) необхідно вважати перегін між двома перехрестями чи іншими місцями зміни характеристик фрагмента транспортної мережі.

Тоді виходить, що кожна ділянка дороги в переважній більшості випадків починається з перехрестя або іншого джерела руху, інтенсивність ТП через які дуже далека від ПС АД через переривчастий характер обслуговування або з інших причин. Тобто навантаження на ділянку, близьку до ПС, не виникає автоматично. На наш погляд, високе навантаження на ділянку АД може з'являтися лише як результат поступового наповнення нещільного ТП попутними автомобілями. Такі процеси характерні для міжміських АД, що проходять, у тому числі, і по міських територіях. На таких ділянках АД зазвичай існують численні бічні примикання (рампи) другорядних доріг, які не змінюють транспортних характеристик АД, проте забезпечують притік додаткових ТЗ на неї (як і відтік ТЗ з неї) протягом ділянки або АД в цілому. ТЗ, що прибувають на АД, ущільнюють ТП при русі до великого центру тяжіння поїздок, найчастіше – великого міста. За відсутності на дорозі перешкод руху, які змінюють ШР ТП, такі умови можуть приводити до поступового наближення інтенсивності ТП до ПС СР і АД загалом.

Цим можна пояснити появу в [7, 9] значення інтенсивності руху значно вище 2000 од./год. на СР, з максимумом у 5301 од./год. на двосмуговій АД. Жоден керівний документ у світі не дає таких значень ПС СР. Більш високі значення можна знайти в іноземній літературі, наприклад – 2300 од./год [8], але тут вони відразу ж визнаються теоретичними, оскільки рідко досягаються в практиці і є нестійкими у разі їх реалізації.

Такий рівень формалізації поняття ПС ділянки АД чи СР не можна вважати задовільним [3], що зумовлює доцільність найретельнішого вивчення самого поняття ПС, розпочати що необхідно з найпростішого об'єкта – одної СР.

У роботі [4] авторами було запропоновано одне з можливих пояснень значних коливань фактичної інтенсивності ТП та невідповідності їм ПС СР – індивідуальна поведінка водіїв, які обирають дистанцію до наступного перед ним ТЗ відповідно до своїх уявлень про комфорт та безпеку руху. Завдяки цьому було розроблено інструмент для опису індивідуальної поведінки водіїв через закон розподілу мінімальної дистанції у щільному потоці заданої швидкості. Однак у роботі [4] не розглядалися питання власне виникнення та формування ТП і не ставилася мета отримання конкретного значення ПС СР.

Ще одне питання, яке не знайшло відображення в роботі [4] є той факт, що насправді водії не дотримуються, певної загальної швидкості ТП, так як зовсім не зобов'язані цього робити, і тому зазвичай і ШР ТЗ також є випадковою величиною. Докладний аналіз цих закономірностей можна знайти у роботі [2], присвячених вивченню ШР у складних – міських умовах руху. Список перелічених в них джерел з емпіричним підтвердженням нормальності ШР в них дуже широкий. Настільки багаторазове і різнобічне не спростування гіпотези про нормальність ШР ТЗ на міжміських АД може вважатися її практичним підтвердженням, яке вимагає свого врахування при оцінці ПС СР.

Метою дослідження є визначення об'єктивних властивостей АД з точки зору їх ПС та формування нового її поняття, яке повною мірою відобразить ці властивості на основі прогнозу параметрів ТП на виході з ділянки СР без можливості здійснення на ній обгонів.

Постановка задачі. Роль об'єкту дослідження має виконувати ділянка односмугової СР з рухом ТЗ без обгонів, яка з одного боку є найпростішою дорожньою спорудою, а з іншого – надає мінімальні можливості для маневрів учасникам руху. Такі умови в реальному житті зустрічаються не дуже часто, наприклад, на мостах чи в тунелях. Вони також можуть тимчасово виникати на звичайних АД при ДТП або ремонтах проїзної частини, а на двосмугових дорогах із зустрічним рухом ще можуть з'являтися в періоди пікових навантажень, коли зустрічний потік не дає можливості для обгонів. Але ці, нехай і рідкі умови, створюють найкращу основу для розуміння процесів, які відбуваються на АД, з точки зору ПС СР.

Під СР слід розуміти еталонну смугу, характеристики якої наведені, зокрема, в [4], але з винятком – ця смуга має мати кінцеву, а не нескінченну, як і в стандартному варіанті, довжину. Такий виняток доцільно зробити на самому початку дослідження, щоб в результаті отримати саме ПС ділянки СР з однаковими умовами руху, а не ПС поперечного перерізу СР. Виходячи з мети руху його учасників – мінімізації часу поїздки, саме така ПС цікава з інженерного погляду тому, що важливим тут є час подолання якогось фрагмента дорожньої мережі, а не перерізу АД.

Не менш цікавою ПС ділянки СР є і з наукової точки зору, оскільки потенційно може розширити поняття ПС на задану довжину ділянки, в якій переріз смуги або дороги є просто окремим випадком, з нульовою довжиною відрізка. Ця відмова від актуалізації нескінченності для довжини еталонної смуги вимагає натомість інших абстракцій, пов'язаних з обраною водіями ШР. Але для отримання аналітичної оцінки ПС СР априорі потрібен високий рівень абстрагування, тому така заміна є природною частиною процесу моделювання об'єкту дослідження.

З практичної точки зору, коли розрахункові формули невідомі, визначити ПС будь-якого об'єкта (приладу), в якому здійснюється якесь обслуговування заявок, можна, якщо подати на його вхід надлишкове навантаження. Тоді ПС приладу дорівнює інтенсивності потоку заявок на виході з нього. Саме так розраховується потік насичення, за наявності черги ТЗ перед перехрестям, що відбиває наявність надлишкового навантаження на напрямок. Така сама ситуація, з надлишковим навантаженням (всі лінії обслуговування постійно зайняті), використовують у теорії масового обслуговування, для максимізації ПС багатолінійної системи, шляхом вибору оптимальної дисципліни обслуговування [6]. Метод створення на вході в об'єкт надлишкового навантаження також є ефективним засобом експериментальної перевірки теоретичних моделей.

Але цей метод працює лише за умови, що надлишкове навантаження на вході в прилад не змінює звичайну тривалість обслуговування заявок. Тобто надлишкове навантаження не створює на вході додаткових затримок, пов'язаних як із початком, так і власне із самим процесом обслуговування заявки.

Така умова в реальних обставинах, що існують на АД або СР, не може бути виконана, оскільки надмірне навантаження на транспортну інфраструктуру в процесах ДР завжди призводить до зниження ШР ТЗ і, відповідно, до збільшення тривалості їх обслуговування. Насправді, надлишкове навантаження на вході в СР завжди означає наявність черги з повільних ТЗ і це не відповідає умовам руху, які настають після в'їзду на ділянку, де швидкість може бути значно вищою, ніж у «вузькому місці».

Тобто виходить, що через фактичні властивості ТП неможливо провести реальний експеримент для перевірки існуючих моделей ПС СР. Але сам спосіб подачі надлишкового навантаження на вході в СР можна використовувати як базу для побудови аналітичної моделі ПС СР, припустивши, що існування умов руху, при яких на вході в ділянку СР є щільний потік ТЗ, все-таки можливо.

Основними параметрами ТП, з погляду на його щільність, є ШР ТЗ у ньому і дистанція між суміжними ТЗ. Щільний ТП виникає тоді, коли кожен водій у потоці, у будь-який момент часу, для поточної ШР його ТЗ, дотримується мінімально припустимої, з його точки зору, дистанції до ТЗ який рухається перед ним. Оскільки кожен водій має власні уявлення про безпеку руху, мінімальна дистанція априорі є випадковою величиною. Тому на стадії обчислень розумним виглядає припущення, зроблене в [4], про можливість її опису якимось законом розподілу з параметрами, що залежать від ШР.

Швидкість проїзду через переріз СР на самому початку ділянки, яка розглядається, буде вважатися, що повністю визначається водієм ТЗ. При русі ділянкою СР, бажана для водія ШР залишається незмінною, але вибір фактичної швидкості обмежується неможливістю обгону передніх ТЗ. Відповідно до накопичених у вільних умовах руху спостереженнями, швидкість руху, що вибирається водіями різних ТЗ, розподіляється нормально, в межах між V_{min} і V_{max} . При цьому обов'язковою є умова, що водії проїжджають вхідний переріз ділянки СР з мінімальною дистанцією до переднього ТЗ та на бажаній ШР. Виконання таких умов означатиме, що на вході в ділянку СР без обгонів створено максимально щільний потік.

При визначенні ПС можливий пошук відповіді на два питання: скільки заявок обслуговується об'єктом за заданий проміжок часу або за який час буде обслуговано задану кількість заявок? У сфері ОДР зазвичай використовується перший підхід, проте у цій роботі доцільно використовувати другий, вважаючи при цьому, що інтенсивність вхідного потоку є постійною величиною.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відповідно до прийнятої постановки задачі, припустимо, що на СР розташовані два вертикальні зрізи на відстані L один від одного – на початку та наприкінці ділянки СР з однаковими характеристиками по всій довжині. На першому з них, у напрямку руху ТП, спостерігається щільний потік ТЗ, в якому кожен ТЗ перетинає перший зріз з бажаною для його водія швидкістю і на мінімально прийнятній для водія дистанції d_i до наступного автомобіля. Разом із довжиною ТЗ, дистанція d_i складає його динамічний габарит

$$D_i = l_i + d_i, \quad (1)$$

де l_i – довжина ТЗ.

Величина D_i через наявність у ній дистанції d_i є функцією швидкості V_i , але обидві ці величини повністю визначаються водієм ТЗ і, відповідно, є для нього константами. Необхідно визначити ПС ділянки СР довжиною L , якщо для кожного водія в аналізованому ТП вважати величини D_i і V_i заданими.

Для цього потрібно оцінити час подолання ділянки групою з N ТЗ, що позначається як T . Цей час дорівнюватиме різниці між моментом виїзду з ділянки останнього ТЗ групи, $i=N$, і моментом в'їзду на ділянку першого ТЗ, $i=1$.

Відповідно до прийнятої постановки задачі, із щільним потоком на вході в ділянку, після проїзду повз перший зріз з бажаною ШР і на мінімально допустимій дистанції до переднього ТЗ, водій продовжує рух ділянкою до другого зрізу з тією ж ШР, якщо його швидкість менша ніж швидкість переднього ТЗ. В іншому випадку він знижує швидкість до ШР переднього ТЗ і приймає відповідну цій швидкості мінімально прийнятну дистанцію до лідера.

Для ТЗ, повільніших, ніж попередній ТЗ, які до кінця ділянки постійно відстають від лідера, дистанція до нього перестає бути мінімально прийнятною на самому початку ділянки і збільшується до самого її кінця. Тобто, за наявності різних побажань стосовно ШР серед водіїв, у загальному випадку потік по ділянці вже не буде щільним. Це означає, що тривалість проїзду всієї групи ТЗ повз другий зріз буде більшою, ніж повз перший, а це означає, що виїзд з ділянки СР має меншу ПС, ніж її в'їзд.

Кількість розривів між ТЗ у ТП визначатиметься перевагами водіїв та порядком розташування ТЗ у потоці. Порядок розташування ТЗ у реальній ситуації є випадковим, що робить завдання оцінки часу подолання ділянки всією групою дуже непростою. Тому спочатку доцільно розглянути лише крайні випадки розташування ТЗ у групі, коли вони йдуть через ділянку в порядку спадання ШР

$$V_N(V_{min}) \dots \leq V_i \leq V_{i-1} \leq \dots \leq V_1(V_{max}), \quad (2)$$

або зростання

$$V_N(V_{\max}) \dots \geq V_i \geq V_{i-1} \geq \dots \geq V_1(V_{\min}) \quad (3)$$

бажаної ШР.

У першому випадку жоден водій не змінює ШР протягом усієї ділянки. Загальний час T_{\downarrow} подолання ділянки групою з N ТЗ дорівнюватиме сумі часу їх щільного проїзду повз перший зріз, часу прибуття останнього ТЗ у групі до другого зрізу, на виході з ділянки, та часу його проїзду повз цей зріз:

$$T_{\downarrow} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i \leq V_{i-1}} + \frac{L}{V_{\min}} + \frac{D_{N\downarrow}}{V_{\min}} \quad (4)$$

У другому випадку, у всій групі лише один, перший водій не змінює ШР протягом усієї ділянки. Всі інші водії, після проїзду першого зрізу, змушені знижувати швидкість до V_{\min} та загальний час T_{\uparrow} подолання ділянки групою з N ТЗ у порядку (3), дорівнюватиме сумі часу їх щільного проїзду повз перший зріз і часу прибуття останнього ТЗ у групі до другого зрізу, на виході з ділянки:

$$T_{\uparrow} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i \geq V_{i-1}} + \frac{L}{V_{\min}} + \frac{D_{N\uparrow}}{V_{\min}} \quad (5)$$

Виходячи з умов проїзду першого зрізу всіма ТЗ у складі щільного потоку, на бажаній швидкості та з мінімально прийнятною дистанцією, перші доданки формул (4) і (5) будуть рівні між собою:

$$\sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i \leq V_{i-1}} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i \geq V_{i-1}} = \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i} \quad (6)$$

Другі доданки у формулах (4) і (5) також однакові, а щодо третіх доданків, то різниця між ними міститься тільки в чисельнику. Так як під номером у першому та другому випадках йдуть різні ТЗ, то в загальному випадку $D_{N\downarrow} \neq D_{N\uparrow}$. Однак реальна довжина ділянки значно більша за довжину будь-якого ТЗ у групі і ця різниця не може бути суттєвою. Нею можна знехтувати без будь-якої помітної втрати спільності результатів, а чисельник останнього доданку замінити на середній динамічний габарит ТЗ групи. Тоді виходить, що час подолання ділянки групою ТЗ є практично однаковим для умов (2) і (3)

$$T_{\downarrow} \approx T_{\uparrow} \Rightarrow T \approx const. \quad (7)$$

Це обумовлене неможливістю здійснення обгонів на ділянці СР, через що в процесі руху нею формуються пачки ТЗ з однаковою ШР в них. При цьому швидкість кожної наступної пачки нижча, ніж попередньої, а ШР останньої завжди дорівнює V_{\min} . У крайніх випадках (2) та (3), ці пачки протилежні за своїм складом, а у всіх інших випадках пачки прийматимуть якісь проміжні стани, але повний час проїзду всієї групи залишиться незмінним у всіх випадках і є постійним для кожного набору ТЗ. Відповідно і ПС ділянки СР, для заданих умов не залежить від порядку проходження ТЗ в пачці. Вона визначається лише бажаннями водіїв ТЗ у ній і дорівнює

$$\dot{I} C = \frac{N}{T} \quad (8)$$

З врахуванням попередніх міркувань щодо різниці в габаритах ТЗ відносно довжини ділянки можливо записати остаточну модель ПС СР без обгонів:

$$\dot{I} C = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{D_i}{V_i} + \frac{L}{V_{\min}} + \frac{\bar{D}}{V_{\min}}}, \quad (9)$$

де \bar{D} – середній динамічний габарит ТЗ у групі.

Для її використання потрібно задати характеристики кожного ТЗ в аналізованому потоці, D_i і V_i для обмеженого набору з N ТЗ. Від (9) можна перейти до безперервного випадку, якщо задати функції розподілу для D і V .

Модель (9) є узагальненням поняття ПС поперечного перерізу СР, яке використовується для опису властивостей ділянки СР в цілому. Вона враховує довжину ділянки, що оцінюється, і не залежить від порядку прямування ТЗ в потоці, а визначається тільки його складом.

Остання властивість об'єктивно властива аналізованому об'єкту, але вона вказує на серйозний недолік, який існує у звичайного способу визначення ПС СР, як максимальної кількості ТЗ, яка може бути обслуговувана смугою за певний проміжок часу. Цей недолік полягає в тому, що за однієї і тієї ж ПС, якість обслуговування учасників руху може бути різною.

Найвищим рівнем якості обслуговування водіїв на ділянці доцільно вважати можливість її подолання на бажаній ШР. До цього критерію, напевно, можна додати й інші фактори, але основна мета водіїв при здійсненні більшості поїздок – це мінімізація часу пересування, при дотриманні обмежень на безпеку та комфорт руху,

з урахуванням чинних правил та характеристик ТЗ, дорожніх та погодних умов. Всі ці, дуже різноманітні, цілі зважуються водієм при виборі найбільш підходящої для нього ШР, тому вона є комплексним показником, який максимально повно відображає якість руху по ділянці для водіїв.

Якщо повернутися до різних випадків упорядкування ТП, то у разі зменшення швидкостей, всі водії з групи обслуговуються на найвищому рівні, оскільки вони долають ділянку на бажаній ними ШР. У разі зростання швидкості, ситуація прямо протилежна – тільки один водій із групи може вважати хорошими умови проїзду ділянкою СР без обгонів. Це водій ТЗ, що йде з мінімальною ШР, а так як такий ТЗ буде присутнім у будь-якому варіанті прямування обмеженого ТП вздовж СР без обгонів, ця ситуація визначає найгірший рівень якості обслуговування водіїв.

Тобто, за однієї і тієї ж ПС, ділянка СР забезпечує протилежні умови руху, які визначаються виключно властивостями ТП. Така ситуація залишиться актуальною, навіть якщо зняти обмеження щодо обгону – вона просто пом'якшиться і перестане бути такою екстремальною. Тому при оцінці ПС необхідно використовувати інші показники, які максимально відображають умови руху на ділянці, з точки зору водіїв ТЗ. А так як процеси, що відбуваються на автошляхах при русі ТП, априорі носять випадковий характер, описувати умови руху необхідно прийнятими в теорії ймовірності індикаторами, спираючись на такі показники, як час поїздки і швидкість руху по ділянці.

Висновки. Значення ПС СР, що використовуються в сучасній інженерній практиці не відповідають максимальній інтенсивності ТП на АД, зафіксованій у багатьох випадках у різних місцях і країнах, що свідчить про необхідність розробки нового підходу до її визначення.

Застосований підхід з ідеалізованим створенням щільного потоку на вході до ділянки СР без обгонів дозволив одержати аналітичну модель для оцінки її ПС, яка узагальнює поняття ПС поперечного перерізу СР, що зараз використовується для опису властивостей ділянок в цілому. Отримана залежність дозволяє врахувати довжину ділянки, що оцінюється, не залежить від порядку прямування ТЗ в потоці, а визначається тільки його складом.

Під ПС ділянки СР слід розуміти таку інтенсивність руху, коли для учасників ТП забезпечуються такі умови руху протягом усієї ділянки, що перевищують задані на певному рівні. Як основний показник, що відображає умови руху ТП по ділянці, доцільно використовувати швидкість вільного руху, яка відображає бажання водіїв ТЗ.

Практична неможливість створити на вході в ділянку СР щільний потік ТЗ, що рухаються з різними ШР, які відповідають бажанням водіїв, диктує необхідність продовжити аналіз умов руху на СР без обгонів з найпростішим ТП на вході. Такий аналіз дозволить отримати більш загальні оцінки ПС СР та сформулювати основи для проведення розширених досліджень, аж до багатосмугових АД.

Список використаних джерел

1. Ву Д. М., Горбачов П. Ф., Колій О. С., Свічинський С. В. Розподіл по-токів індивідуального автотранспорту в міських мережах на основі затримок на перехрестях. *Автомобільний транспорт*. 2020. № 46. С. 47–62.
2. Горбачов П. Ф., Ву Д. М., Штанько І. І. Закономірності розподілу швидкості руху транспортних засобів на міських вулицях. *Сучасні інформаційні системи* : зб. наук. пр. / НТУ ХП. Харків, 2020. Т. 4. С. 163–169.
3. Запорожцева О. В. Удосконалення принципів визначення пропускної спроможності багатосмугових автомагістралей : дис. ...канд. техн. наук : М-во освіти і науки України, ХНАДУ. Харків, 2016. 23 с.
4. Наглюк І. С., Макарічев О. В., Горбачов П. Ф., Горбачова О. О. Визначення пропускної спроможності смуги руху на автомобільних дорогах і міських вулицях. *Автомобільний транспорт*. 2018. № 42. С. 89–97.
5. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів : ДБН В.2.-3-5-2001. [Чинний від 2001-10-01]. Київ: Держбуд України, 2001. 51 с. (Державні будівельні норми України).
6. A Course in Probability Theory, Third Edition / Kai Lai Chung – Academic Press; 3rd edition, 2020. 419 p.
7. Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2000. 1207 P.
8. Morgante M. Motorway design guide. Capacity and flow analysis. NSW Government, Roads and Maritime Services. 2017. 58 P. URL: <https://roads-waterways.transport.nsw.gov.au/business-industry/partners-suppliers/documents/motorway-design/motorway-design-guide-capacity-flow-analysis.pdf>.
9. NSW Roads and Traffic Authority "Traffic Volume Data for Sydney Region 1999 : Volume 1", RTA Traffic and Transport Directorate, Sydney 2000. 639 p.
10. TRB, 2010. Highway Capacity Manual, Washington : National Research Council. Washington, D. C., 2010. 1650 P.

Horbachov P. F.

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Transport Systems and Logistics,
Kharkiv National Automobile and Highway University
Kharkiv, Ukraine

E-mail: gorbachov.pf@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8180-4072

Pronin S. V.

*PhD in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Computer Systems,
Kharkiv National Automobile and Highway University
Kharkiv, Ukraine*

E-mail: sergiy9977@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7475-621X

Chyzhyk V. M.

*Candidate of technical sciences,
Assistant of the Department of Transport Systems and Logistics,
Kharkiv National Automobile and Highway University
Kharkiv, Ukraine*

E-mail: chyzhyk88@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0518-5246

Tokmylenko T. T.

*Senior Lecturer at the Department of Transport Systems and Logistics,
Kharkiv National Automobile and Highway University
Kharkiv, Ukraine*

E-mail: tetyana@tokmylenko.com
ORCID: 0009-0006-2542-1452

RESEARCH OF THE TRAFFIC CAPACITY OF A HIGHWAY LANE WHEN DRIVING WITHOUT OVERTAKING

Abstracts

The study of the conditions that arise when a group of cars moves along a lane without overtaking has shown that the generally accepted definition of capacity as the maximum possible number of vehicles that can pass through the cross-section of a roadway lane per unit of time is not sufficiently informative. This leads to the fact that the actual intensity of traffic flows exceeds the capacity on many sections of highways in different countries, which should not be the case, based on its wording. In this form, this indicator also does not reflect the quality of service for road users on the section, the achievement of a high level of which is the main purpose of the creation and operation of highways.

Using the method of idealization, it is shown that the total time for a dense group of vehicles to overcome a certain single-lane section of a highway of non-zero length without overtaking and overtaking, which begins when the first vehicle of the group crosses the beginning of the section and ends when the last of them crosses the beginning of the section, depends only on the speed of the slowest member of the group. It is assumed that in free conditions these vehicles would move at different speeds chosen by each driver individually, based on the technical characteristics of the vehicle, road conditions and their own wishes, which is fully consistent with the real traffic conditions on road sections in many countries where the relevant studies were conducted.

The paper substantiates the need to take into account the length of the section when determining its capacity, as the traffic intensity at which the traffic conditions set at a certain level of quality are ensured on the section. As the main indicator that reflects these conditions, it is proposed to use the free movement speed, which reflects the preferences of drivers in the traffic flow.

Key words: highway, law of speed distribution, traffic intensity, capacity, traffic lane, traffic flow.

References

1. Vu, D.M., Horbachov, P.F., Koli, O.S., & Svichynskyi, S.V. (2020). Rozpodil potokiv individualnoho avtotransportu v miskykh merezhakh na osnovi zatrymok na perekhrestyakh [Distribution of individual vehicle flows in urban networks based on delays at intersections]. D.M. Vu (Eds.), *Avtomobilnyi transport – Automobile transportation*, 46, 47–62 [in Ukrainian].
2. Horbachov, P.F. Vu, D.M., & Shtanko, I.I. (2020). Zakonomirnosti rozpodilu shvydkosti rukhu transportnykh zasobiv na miskykh vulytsiakh [Distribution patterns of vehicle speeds on city streets]. P.F. Horbachov (Eds.), *Suchasni informatsiini systemy – Modern information systems*, Vols 4, 163–169 [in Ukrainian].
3. Zaporozhtseva, O.V. (2016) Udoskonalennia pryntsyypiv vyznachennia propusknoi spromozhnosti bahatosmuhovykh avtomahistranei [Improving the principles of determining the capacity of multi-lane highways]. *Candidate's thesis*. Kharkiv : KHNADU [in Ukrainian].
4. Nahliuk, I.S., Makarichev, O.V., Horbachov, P.F., & Horbachova, O.O. (2018). Vyznachennia propusknoi spromozhnosti smuhy rukhu na avtomobilnykh dorohakh i miskykh vulytsiakh [Determination of lane capacity on highways and city streets]. I.S. Nahliuk (Eds.), *Avtomobilnyi transport – Automobile transportation*, 42, 89–97 [in Ukrainian].
5. Sporudy transportu. Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv [Transportation facilities. Streets and roads of settlements]. (2001). DBN V.2.-3-5-2001 from 10 January 2001. Kyiv: Derzhbud Ukraine [in Ukrainian].
6. A Course in Probability Theory, Third Edition / Kai Lai Chung – Academic Press; 3rd edition, 2020. 419 p.
7. Highway Capacity Manual. TRB, National Research Council, Washington, D. C., 2000. 1207 P.

8. Morgante M. Motorway design guide. Capacity and flow analysis. *NSW Government, Roads and Maritime Services*. 2017. 58 P. Retrieved from: <https://roads-waterways.transport.nsw.gov.au/business-industry/partners-suppliers/documents/motorway-design/motorway-design-guide-capacity-flow-analysis.pdf>.

9. NSW Roads and Traffic Authority «Traffic Volume Data for Sydney Region 1999 : Volume 1», RTA Traffic and Transport Directorate, Sydney 2000. 639 p.

10. TRB, 2010. Highway Capacity Manual, Washington : National Research Council. Washington, D. C., 2010. 1650 P.

УДК 629.113:620.2

Колодницька Р. В.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій,
Заклад вищої освіти Державний університет «Житомирська політехніка»
Житомир, Україна
E-mail: ruslanakolod2017@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6943-3731

Можаровський М. М.

старший викладач кафедри автомобілів і транспортних технологій,
Заклад вищої освіти Державний університет «Житомирська політехніка»
Житомир, Україна
E-mail: zid_mmm@ztu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-5418-4736

Шумляківський В. П.

кандидат технічних наук,
завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій,
Заклад вищої освіти Державний університет «Житомирська політехніка»
Житомир, Україна
E-mail: shumliakivskyiv@ztu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0618-4483

КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ НАТУРАЛЬНИХ ВОЛОКОН ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Анотація

У зв'язку з військовими діями в Україні поставки джуту за-за кордону обмежені, отже підприємства намагаються використовувати місцеву продукцію, а саме промислову коноплю, яка не містить в своєму складі тетрагідроканабінолу. Генрі Форд використовував конопляні волокна в композитних матеріалах для кузова автомобіля ще в 1941 р. Він інвестував мільйони доларів у дослідження і розробку пластикового автомобіля і оголосив, що буде «вирощувати автомобілі з ґрунту». Починаючи з 2009 р. в Державному Університеті «Житомирська політехніка» проводяться дослідження композитних матеріалів на основі конопляних волокон і можливості застосування їх для автомобільного транспорту. Метою роботи є дослідження особливостей виробництва композитних матеріалів на основі промислової коноплі і розробка методики виготовлення повністю натурального композиту з промислової коноплі. У роботі розглянуто дві методики виготовлення композитних матеріалів на основі натуральних волокон коноплі: з синтетичною і натуральною матрицями. Проаналізовано процес виготовлення композитних матеріалів з синтетичною матрицею, що армовані конопляними волокнами, які виготовляються за допомогою процесу формування листів (SMC, sheet moulding compound). При створенні композитних матеріалів з натуральною матрицею з використанням біопластику (PLA), міцність міжфазного зв'язку між волокнами конопель і матрицею PLA буде слабка, що є недоліком композитів з натурального волокна. Для того щоб подолати цей недолік було використано метод пробивання голками матеріалу. Описано виготовлення композитного матеріалу на основі коноплі в Державному університеті «Житомирська політехніка». Композитний матеріал був виготовлений з нетканого матеріалу на основі коноплі і натуральної плівки PLA, яка для кращого прилягання пробивалася голками. Розроблена методика полягає в наступному: 1) створення павутини з конопляного матеріалу і PLA; 2) стиснення павутини і пробивання голками; 3) розрізання конопляних матів на куски розмірами 20×175 мм; 4) формування і розрізання плівки PLA на прямокутники 20×175 мм; 5) сушіння матеріалу в духовці протягом 30 хв за температури 105 °С; 6) застосування гарячого пресування.

Ключові слова: автомобільний транспорт, композитні матеріали, натуральні волокна, технічна конопля.

Вступ. У зв'язку з військовими діями в Україні поставки джуту за-за кордону обмежені, отже підприємства намагаються використовувати місцеву продукцію, а саме технічну (промислову) коноплю. Промислові коноплі – це сорти *Cannabis sativa*, які мають вміст тетрагідроканабінолу (ТГК), як правило, нижче 0,35% [3]. Сорт конопель з найнижчим вмістом ТГК (майже 0%) був виведений в Україні (м. Глухів, Сумська область). В звіті [3] показано, яка кількість коноплі (млн.т) використовувалося в 2022 році на автомобільному транспорті (АТ) у наступних регіонах: Північна Америка, Європа, Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Латинська Америка, Близький Схід та Африка. Також прогнозується зростання використання промислової коноплі в АТ протягом 2023–2029 рр. На

жаль, ці дані не є у вільному доступі й потрібно сплатити 2900 доларів США для того, щоб отримати детальну інформацію щодо використання конопляних матеріалів в АТ за 2022 р.

В Державному Університеті «Житомирська політехніка» проводяться не тільки дослідження дизельних біопалив на основі коноплі для АТ [1], але й композитних матеріалів на основі конопляних волокон. Починаючи з 2009 р., було виконано декілька бакалаврських і магістерських проєктів щодо використання композитів на основі натуральних волокон в АТ, включаючи магістерську роботу Весненка С. «Амортизатор нового типу з використанням композиційного матеріалу на основі натуральних волокон».

Генрі Форд використовував конопляні волокна в композитних матеріалах для кузова автомобіля ще в 1941 р. Цей автомобіль міг витримати десятикратний удар у порівнянні з еквівалентною металевою конструкцією [8]. Форд інвестував мільйони доларів у дослідження і розробку пластикового автомобіля і оголосив, що буде «вирощувати автомобілі з ґрунту». Рама цього автомобіля була зроблена із сталевих труб, до яких було прикріплено близько чотирнадцяти пластикових панелей, товщиною лише 6 мм. Така модернізація призвела до зменшення ваги автомобіля на 33%. На жаль, автомобіль не потрапив в масове виробництво через комерційний успіх скловолна і паралельну розробку синтетичних смол, таких як ненасичені полієфірні смоли і епоксидні смоли під час і відразу після Другої світової війни [8]. Це призвело до масового виробництва синтетичних композитів і відповідного зниження використання натуральних волокон.

Екологічні проблеми суспільства в таких питаннях, як стійкість, переробка пластику [5] та екологічна безпека призвели до відновлення інтересу до композитів з натурального волокна [8]. Німеччина є в авангарді використання натуральних волокон у композитних матеріалах для АТ. Ляні волокна мали найбільшу частку використання в композитах АТ – 65%, за ним слідували конопляні волокна – 10% [8]. Використання композитів, армованих натуральним волокном, подвоїлося з 15000 т. (1999 р.) до 30000 т. (2005 р.). В середньому 5,4 мільйона автомобілів, випущених в 2005 році, використовували 3,6 кг натуральних волокон на один автомобіль [8].

В [4] проведено аналіз використання різних типів сталей в легковому автомобілі. Відомо, що конопляне волокно має більшу міцність, ніж сталь. В [2] волокна коноплі були успішно армовані в полімерних матрицях для підвищення міцності композитних матеріалів. В [10] була застосована нова методика ламінування для поліпшення механічних властивостей композитів на основі біопластику (полімолочної кислоти), армованих конопляними волокнами.

Мета роботи. Дослідження особливостей виробництва композитних матеріалів на основі промислової коноплі і розробка методики виготовлення повністю натурального конопляного композиту для АТ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо дві методики виготовлення композитного матеріалу на основі конопляних волокон.

Методика 1. Виготовлення композитного матеріалу на основі коноплі з синтетичною матрицею.

Композити, армовані конопляними волокнами [6], були виготовлені з використанням традиційного процесу *формування листів композитів* (SMC, sheet moulding compound). Машина SMC складалася з двох станцій для ролотування рулонів поліамідної плівки. Для виготовлення композиту спочатку в нижній смоляний ящик машини подавали смоляну пасту для просочення. Виробництво SMC починалося з переміщення машиною нижньої та верхньої плівок, оскільки смоляна паста наносилася на обидві плівки з рівномірною товщиною за допомогою двох лопаток з регульованою висотою. Одночасно рулон конопляного нетканого матеріалу подавався між двома плівками, створюючи структуру сендвіч-плівки, а потім переміщався між серією роликів для ущільнення. Цей матеріал SMC, що був поміщений між двома плівками, був спресований через ряд валиків для того, щоб смоляна паста проникла в конопляний волокнистий килимок. Потім конопляний препрег залишали в приміщенні при підвищеній температурі (30–40°C) протягом одного дня [7] для так званого процесу загущення (SMC thickening process). Далі матеріал пресували за допомогою гарячого пресу (форми 300 мм × 300 мм). Два шари препрегу SMC використовувалися для виробництва зразків композитних матеріалів для механічних випробувань. Гаряче пресування відбувалося за температури 140°C і тиску 10 МПа біля 5 хвилин, і одержаний композит мав умовну товщину 3,5 мм.

В [7] для створення нового матеріалу використовувались неткані конопляні килимки (матики), які були придбані у компанії Nemp Technology Ltd (Великобританія) з поверхневою щільністю 500 г/м² і середньою довжиною волокна 65 мм. Ортофталевий ненасичений поліестер (DSM Resins, Великобританія) був вибраний в якості смоли. Для композитів SMC на основі скловолна були використані неткані килимки E-glass. Карбонат кальцію (CaCO₃) з розміром частинок 10 мм використовувався як мінеральний наповнювач. У [7] також описані результати випробувань на низько швидкісне ударне навантаження цих композитних матеріалів, як на основі скловолна, та і армованих натуральними волокнами. Повідомляється [7] про вплив вмісту конопляного волокна та наповнювача (CaCO₃) на енергію композита, армованого конопляним волокном (H-SMC), та порівнюється з композитом, який армований скловолном (G-SMC). Були вивчені три різні параметри матеріалу - об'ємна частка волокон, вміст наповнювача та обробка поверхні волокон. Встановлено, що як максимальна сила, так і енергія удару зростали зі збільшенням вмісту волокон до об'ємної частки біля 40%, після чого зменшувалися [7]. Таким чином, оптимальна об'ємна частка волокон композиту з конопляних волокон становить біля 40%.

Методика 2. Виготовлення композитного матеріалу на основі коноплі з використанням біопластику як матриці. Біопластик, що використовується в якості матриці в [10] був матеріал PLA – що представляє собою полімолочну кислоту, яка отримується з поновлюваних органічних джерел, таких як кукурудзяний крохмаль або цукрова тростина. Методика виготовлення композитного матеріалу, що запропонована в [10], полягає в наступному. Спочатку конопляні волокна і волокна біопластику (PLA) змішуються і проколюються голками з одержанням матику волокон (fiber felt). З плітків PLA формують плівку PLA. Далі з цих двох матеріалів формується ламінат методом гарячого пресування.

Як правило, міцність міжфазного зв'язку між волокнами конопель і матрицею PLA слабка, що є недоліком композитів з натурального волокна. В [10] смоляна плівка PLA була сформована за допомогою машини гарячого пресування з плітків PLA. Потім цю плівку PLA розрізали на прямокутні форми (20 мм × 175 мм). Для формування більш однорідного композиту з більшою міцністю утворений матеріал пробивався голками. Цей процес відбувався в два етапи: попереднє голкопробивання (розташування голок: 3500 голок/м, частота руху голки: 650 разів/хв, діаметр голки: 1,83 мм) та основне голкопробивання (розташування голок: 5000 голок/м, частота руху голки: 1000 разів/хв, діаметр голки: 1,83 мм).

Запропонована комбінована методика 3. Методика виготовлення матеріалу в «Житомирська політехніка» базувалась на методиці, що була адаптована з вище викладених двох методик. Відмінності виготовлення композитного матеріалу за розробленою методикою полягають в тому, що на відміну від методики 1, що викладена в [6, 7], була використана натуральна матриця PLA, а не синтетична (див. [6]). Також матеріал проколювався голками, як це було запропоновано за методикою 2, що описана в [10]. Але на відміну від методики 2 в зразках, які були виготовлені, використовувався нетканый матеріал («матик»), що був виготовлений з відходів коноплі, а не самі волокна коноплі, що має знизити вартість такого композиту.

Були виготовлені зразки композитного матеріалу на основі відходів конопляної сировини: 1) конопляний «матик», виготовлений в м. Макарів, Україна; 2) конопляний нетканый матеріал, компанія «Агро-Ханф», Україна. Комбінована методика полягає в наступному: 1) створення павутини з конопляного матеріалу і PLA; 2) стиснення павутини і пробивання голками; 3) розрізання конопляних матиків на куски розмірами 20×175 мм; 4) формування і розрізання плівки PLA на прямокутники 20×175 мм; 5) сушіння матеріалу в духовці протягом 30 хв за температурою 105 °С; 6) застосування гарячого пресування, деталі якого описані в [10].

В [9] було досліджено, що додавання лігніну до конопляно-епоксидних композитів (з використанням нетканого конопляного волокнистого матику) збільшувало міцність композиту. Дослідження проблем міцності композитів на основі конопляних волокон може бути темою наступних досліджень.

Висновки. У роботі проведено аналіз методик виготовлення композитних матеріалів на основі натуральних волокон коноплі. Описано методику виготовлення конопляного композитного матеріалу в Державному університеті «Житомирська політехніка». Композитний матеріал був виготовлений з нетканого матеріалу на основі коноплі і натуральної плівки PTL, яка для кращого прилягання пробивалася голками. Дослідження проблем міцності композитів на основі конопляних волокон може бути темою наступних досліджень.

Список використаних джерел

1. Колодницька Р.В. Процеси випаровування та згоряння дизельного біопалива у двигунах внутрішнього згоряння : монографія. Житомир: ЖДТУ, 2018. 192 с.
2. Dayo A. Q., Xu Y-L., Zegaoui A. et al. Reinforcement of waste hemp fibres in aromatic diamine-based benzoxazine thermosets for the enhancement of mechanical and thermomechanical properties. *Plastics, Rubber and Composites*. 2017. 46:10. P. 442–449.
3. Global Industrial Hemp in Automotive Market Research Report 2023. URL: <https://reports.valuates.com/market-reports/QYRE-Auto-11Y10587/global-industrial-hemp-in-automotive>.
4. Fechová E., Kmec J. Vagaská, A., Kozak D. Material Properties and Safety of Cars at Crash Tests. *Procedia Engineering* 149 (2016) 263–268. International Conference on Manufacturing Engineering and Materials, ICMEM 2016, 6–10 June 2016, Nový Smokovec, Slovakia.
5. Ozoemena M.C., Coles S.R. Hydrothermal Treatment of Waste Plastics: An Environmental Impact Study. *J Polym. Environ.* 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02792-3>.
6. Patel H.K., Ren G., Hogg P.J., Peijs T. Hemp Fibre as an Alternative to Glass Fibre in Sheet Moulding Compound: Part 1. Influence of Fibre Content and Surface Treatment on Mechanical Properties. *Plastics, Rubber and Composites, Macromolecular Engineering*. Volume 39 – Issue 6. 2013. P. 268–276.
7. Patel H.K., Ren G., Hogg P.J., Peijs T. Hemp Fibre as an Alternative to Glass Fibre in Sheet Moulding Compound: Part 2 – impact properties. *Plastics, Rubber and Composites, Macromolecular Engineering*. Volume 44 – Issue 7. 2015. P. 291–298.
8. Shahzad. A Hemp fiber and its composites - A review. *Journal of Composite Materials*. 2012. 46 (8). P. 973–986.
9. Wood B. M., Coles S. R., Maggs S., Meredith J., James O. and Kirwan K. 2011. Use of lignin as a compatibiliser in hemp/epoxy composites. *Composites Science and Technology*, Vol. 71 (No. 16). P. 1804–1810.
10. Xu Z., Yang L., Ni Q., Ruan F. and Wang H. Fabrication of high-performance green hemp/poly(lactic acid) fibre composites. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2019. Volume 14. P. 1–9.

Kolodnytska R. V.

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Automobiles and Transport Technologies,
Higher Education Institution Zhytomyr Polytechnic State University,
Zhytomyr, Ukraine*

E-mail: ruslanakolod2017@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6943-3731

Mozharovsky M. M.

*Assistant Professor at the Department of Automobiles and Transport Technologies,
Higher Education Institution Zhytomyr Polytechnic State University,
Zhytomyr, Ukraine*

E-mail: zid_mmm@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-4720-3783

Shumliakivsky V. P.

*Candidate of Technical Sciences,
Head of the Department of Automobiles and Transport Technologies,
Higher Education Institution, Zhytomyr Polytechnic State University,
Zhytomyr, Ukraine*

E-mail: shumliakivskyiv@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-0618-4483

COMPOSITE MATERIALS BASED ON NATURAL FIBERS FOR ROAD TRANSPORT

Abstract

In connection with the hostilities in Ukraine, the supply of jute abroad is limited, so enterprises are trying to use local products, namely industrial hemp, which does not contain tetrahydrocannabinol. Henry Ford used hemp fibers in composite materials for the car body as early as 1941. He invested millions of dollars in the research and development of a plastic car and announced that he would "grow cars from the soil." Since 2009, Zhytomyr Polytechnic State University has been conducting studies of composite materials based on hemp fibers and the possibility of using them for road transport. The purpose of this work is to investigate the features of the production of composite materials based on industrial hemp and the development of methods for manufacturing a completely natural composite from industrial hemp. The paper considers two methods of manufacturing composite materials based on natural hemp fibers: with synthetic and natural matrices. The process of manufacturing composite materials with synthetic matrix, reinforced with hemp fibers, which are made using the process of forming sheets (SMC, sheet moulding compound), is analyzed. When creating natural matrix composite materials using bioplastics (PLA), the interfacial bond strength between hemp fibers and the PLA matrix will be weak, which is a disadvantage of natural fiber composites. In order to overcome this drawback, the method of punching material with needles was used.

The production of composite material based on hemp at Zhytomyr Polytechnic State University is described. The composite material was made of nonwoven material based on hemp and natural PLA film, which was punched with needles for a better fit. The developed technique is as follows: 1) creating a web of hemp material and PLA; 2) compression of the web and punching with needles; 3) cutting hemp sticks into pieces measuring 20×175 mm; 4) forming and cutting PLA film into rectangles of 20×175 mm; 5) drying the material in the oven for 30 minutes at a temperature of 105°C; 6) the use of hot pressing.

Key words: automobile transport, composite materials, natural fibers, industrial hemp.

References

1. Kolodnytska, R.V. (2018). *Protsesy vyparovuvannya ta zgoryannya dyzelnoho biopalyva u dvygunah vnutrishnjogo zgoryannya: monohrafiia. [Processes of evaporation and combustion of diesel biofuel in internal combustion engines: monograph].* Zhytomyr: ZSTU, 192 p. [in Ukrainian].
2. Dayo, A. Q., Xu, Y-L., & Zegaoui A. et al. (2017). Reinforcement of waste hemp fibres in aromatic diamine-based benzoxazine thermosets for the enhancement of mechanical and thermomechanical properties. *Plastics, Rubber and Composites*. 46:10. pp. 442–449.
3. Global Industrial Hemp in Automotive Market Research Report 2023. (2023). Retrieved from: <https://reports.valuates.com/market-reports/QYRE-Auto-11Y10587/global-industrial-hemp-in-automotive>
4. Fehová, E., Kmec, J. Vagaská, A., & Kozak, D. (2016). Material Properties and Safety of Cars at Crash Tests. *Procedia Engineering*. 149 pp. 263–268. International Conference on Manufacturing Engineering and Materials, ICMEM 2016, 6–10 June 2016, Nový Smokovec, Slovakia.
5. Ozoemena, M.C., & Coles, S.R. (2023). Hydrothermal Treatment of Waste Plastics: An Environmental Impact Study. *J Polym. Environ.* Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02792-3>.

-
6. Patel, H.K., Ren G., Hogg, P.J., & Peijs, T. (2013). Hemp Fibre as an Alternative to Glass Fibre in Sheet Moulding Compound: Part 1. Influence of Fibre Content and Surface Treatment on Mechanical Properties. *Plastics, Rubber and Composites, Macromolecular Engineering*. V 39. Iss. 6. pp. 268–276.
 7. Patel, H.K., Ren G., Hogg, P.J., & Peijs, T. (2015). Hemp Fibre as an Alternative to Glass Fibre in Sheet Moulding Compound: Part 2 – impact properties. *Plastics, Rubber and Composites, Macromolecular Engineering*. V. 44 – iss. 7. pp. 291–298.
 8. Shahzad, A. (2012). Hemp fiber and its composites – A review. *Journal of Composite Materials*. iss. 46 (8). pp. 973–986.
 9. Wood, B.M., Coles, S.R., Maggs, S., Meredith, J., James, O., & Kirwan, K. (2011). Use of lignin as a compatibiliser in hemp/epoxy composites. *Composites Science and Technology*. iss.71 (16). pp. 1804–1810.
 10. Xu, Z., Yang, L., Ni, Q., Ruan, F. and Wang, H. (2019). Fabrication of high-performance green hemp/polylactic acid fibre composites. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. iss. 14. pp. 1–9.

УДК 355.46

Помазков М. В.

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автомобільного транспорту
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
Дніпро, Україна
E-mail: potazkovmik1@gmail.com
ORCID: 0009-0008-8787-2907

Мнацаканян М. С.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій,
Маріупольський державний університет
Київ, Україна
E-mail: m.s.mnatsakanian@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1829-2334

Маник І. С.

магістр кафедри автомобільного транспорту
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
Дніпро, Україна
E-mail: manikirina0306@gmail.com
ORCID: 0009-0003-9233-3311

МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ГУМАНІТАРНИХ ВАНТАЖІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

Анотація

Стаття аналізує найбільшу гуманітарну кризу в Європі після Другої світової війни, що виникла внаслідок розпочатої повномасштабної військової агресії на території України у лютому 2022 року. Підвищення рівня конфлікту призвело до суттєвого збільшення гуманітарної допомоги, проте постачання та розподіл стикаються з труднощами через руйнування транспортної та комунікаційної інфраструктури. Стаття пропонує використання системи ArcGIS для розробки програмного продукту, який у реальному часі буде прокладати оптимальний та безпечний маршрут доставки гуманітарного вантажу, уникати ризиків та зменшувати втручання людського фактору. Застосування географічних даних з різних джерел, таких як GPS, аерокосмічні та супутникові зображення, а також інформація від місцевих веб-сайтів, дозволить створити карту статусу ситуації та забезпечити ефективне управління гуманітарною допомогою. Також розглядає використання методу аналізу ієрархії для визначення критеріїв оптимізації та вибору оптимального маршруту. Цей підхід враховує часткові критерії, такі як довжина маршруту, час у дорозі, марка автомобіля та інші, для визначення нових маршрутів в умовах воєнного конфлікту. Наведені рекомендації та методи дозволяють створити інноваційний інструмент для ефективного управління гуманітарною допомогою в умовах військового конфлікту, забезпечуючи безпеку та ефективність доставки на території України. Розробка такого інструменту не лише полегшить постачання гуманітарної допомоги, але й допоможе у запобіганні загрозам для працівників та отримувачів допомоги, сприяючи забезпеченню необхідних ресурсів в умовах надзвичайної ситуації.

Ключові слова: гуманітарний вантаж, геоінформаційні системи, нечітка логіка, ситуаційна транспортна мережа.

Вступ. Забезпечення ефективного та координаційного механізму надання гуманітарної допомоги під час воєнного конфлікту в Україні має низку проблем, зокрема одним з найбільш проблемних аспектів функціонування механізму забезпечення гуманітарною допомогою постраждалого населення України в умовах військового часу є її доставка та розподіл на відрізку «останньої милі».

При доставці гуманітарного вантажу на відрізку останньої милі слід враховувати такі аспекти, як руйнування існуючої транспортної інфраструктури та інфраструктури зв'язку, відсутня підготовка кваліфікованих працівників та необхідність забезпечення безпеки гуманітарних місій [12]. Гуманітарні місії часто стають об'єктом обстрілів, які загрожують життям працівників гуманітарних місій та тих, кому надається допомога. Обстріли можуть призвести до припинення або обмеження безперешкодного доступу до гуманітарної допомоги, що ще більше загострює вже складну ситуацію потребуючого населення. Зважаючи на небезпеку доволі поширеною стає ситуація, коли процес вивантаження гуманітарної допомоги на складі одержувача та її подальший розподіл потребуючим намагаються пришвидшити для того, щоб зменшити тривалість перебування працівників місії

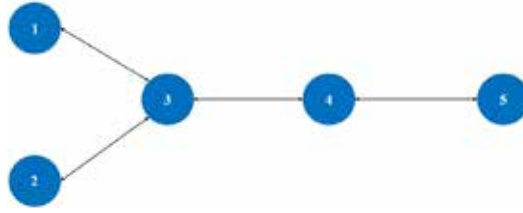


Рис. 1. Схема доставки – визначення опорного плану

та місцевих мешканців в небезпечних умовах [13]. Однак саме через поспішність цього процесу можуть виникати ситуації, що унеможливають коректність обліку за розподілом гуманітарної допомоги та підсилюють її нецільове використання, розкрадання та перепродаж. Так, як правило, планування гуманітарних місій потребує цілісного підходу та виконання низки кроків для забезпечення безпеки під час доставки гуманітарної допомоги в зони конфлікту, серед яких необхідність аналізу конкретних ризиків та потенційних загроз для визначення засобів для їх уникнення та зменшення. Багато авторів, науковців, журналістів та представників гуманітарних організацій висвітлюють проблеми та виклики перевезень гуманітарних вантажів у своїх публікаціях і дослідженнях. Представники таких організацій, як Міжнародний комітет Червоного Хреста, ЮНІСЕФ, Лікарі без кордонів та інші, публікують звіти і дослідження щодо своєї діяльності в сфері гуманітарних перевезень. Серед них найбільш цікаві роботи [8–10, 12, 14]. Однак попередні дослідження здебільшого містять лише інформацію про статистичні дані щодо перевезень (кількість перевезень за звітний період, тип гуманітарного вантажу, обсяги та маршрути доставки), або описують поточну ситуацію у сфері гуманітарних перевезень, уникаючи надання суттєвих пропозицій щодо пошуку шляхів вирішення труднощів, що були наведені. Отже, після розгляду проблем та ризиків, з якими стикають гуманітарні місії при доставці гуманітарного вантажу на відрізьку останньої милі, є потреба у дослідженні наявних дієвих інструментів для покращення ефективності, координації та безпеки гуманітарних перевезень, що включають нові стратегії та методи.

Мета роботи. Розробка концепції програмного продукту, функціональні можливості якого дозволять прокладати оптимальний та безпечний маршрут доставки гуманітарного вантажу між заданими точками та корегувати його напрям в залежності від впливу «непередбачуваної ситуації» в режимі реального часу з мінімальним задіянням втручання людського фактору.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вирішується задача оперативного управління раціональною доставкою гуманітарних вантажів в умовах військового часу на основі наступного опорного плану: доставка відбувається від складу у місті Дюссельдорф (1) та складу у місті Рим (2) до складу у м. Чернівці (Україна) (3), складу у м. Харків (4) та пункту видачі гуманітарної допомоги (5). Транспортна мережа доставки подана у вигляді графа (рис. 1), де: 1 – склад у місті Дюссельдорф (Німеччина) 2 – склад у місті Рим (Італія); 3 – склад у місті Чернівці (Україна); 4 – склад у місті Харків (Україна); 5 – пункт видачі гуманітарної допомоги у місті Ізюм Харківської області.

Припускається ситуація, що доставка вантажу від вузлів 1 та 2 до вузлів 3 та 4 була виконана якісно та своєчасно без виникнення будь-яких перешкод, однак перед відправленням транспортного засобу з гуманітарним вантажем з вузла 4 у напрямку вузла 5 наявне виникнення «непередбачуваної ситуації» на попередньо запланованому маршруті – м. Харків – м. Чугуїв – м. Ізюм, який завчасно був обраний спеціалістом як найбільш оптимальний у цьому напрямку. Під непередбачуваною ситуацією можна розуміти загрозу артилерійського обстрілу, загрозу ракетної небезпеки, руйнування інфраструктури внаслідок обстрілу, контрнаступ ворожих військ тощо. Прийmemo до уваги розгляд загрози артобстрілу та ракетної небезпеки як непередбачуваної ситуації на заданому напрямку. Слід врахувати, що виникненню цієї загрози притаманні такі характеристики, як раптовість та перманентність у зміні стану та радіусу впливу під час її дії, що призводить до утворення нечіткої ситуаційної транспортної мережі напрямку слідування, яка функціонує в умовах суцільної невизначеності. Це вимагає постійного моніторингу ситуації [11], що складається на маршруті слідування, швидкої оцінки обставин, що виникли під час руху транспортного засобу за маршрутом, здійснення оперативних керуючих рішень щодо коригування опорного плану при необхідності, побудови можливих (альтернативних) маршрутів в заданому напрямку та вибору нового оптимального маршруту слідування (рис. 2).

Вирішення поставленої задачі можливе при застосуванні концепції «ситуаційного вибору маршруту на основі нечіткої ситуаційної транспортної мережі» [1].

При виникненні «непередбачуваної ситуації» в вузлі W_j – подальший маршрут визначається наступним чином (рис. 3): визначається множина альтернативних (можливих) маршрутів доставки $\mu(j) = S_{NET} = \{S_{NET1}, S_{NET2}, \dots, S_{NETn}, \dots, S_{NETm}\}$. Кожен маршрут характеризується параметрами (критеріями), – $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$ (наприклад, пропускна здатність, відстань, час доставки, безпека).

Ситуаційний шаг управління представлений формулою:

$$S_{NET} : S_j \xrightarrow{U_k} S_l$$

де S_{NET} – виконання опорного плану S_{NET} ; S_j – поточна ситуація (вузол W_j); S_l – нова ситуація (вузол W_j коригування опорного плану); вибір маршруту в «непередбачуваній ситуації» (вибір моделі доставки) (див. рис. 3).



Рис. 2. Загальна схема транспортної мережі на напрямку м. Харків – м. Ізюм

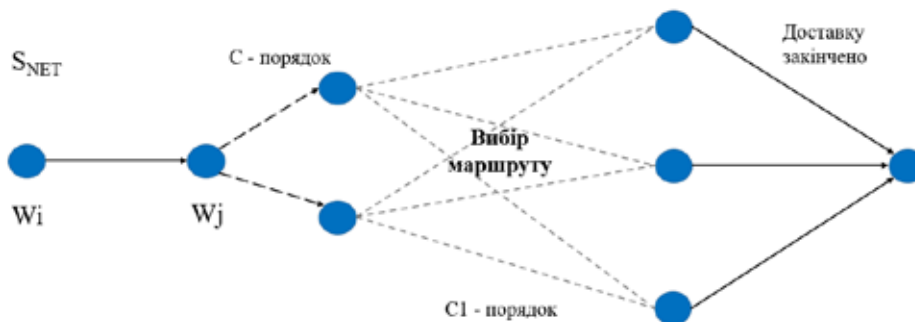


Рис. 3. Оперативне управління доставкою вантажів при застосуванні концепції ситуаційного вибору маршруту

Для непередбачуваних ситуацій потрібно не лише ідентифікувати саму ситуацію та набір керуючих рішень, які їй відповідають, але й визначити раціональні шляхи досягнення цілей планування та оперативного управління вибором маршруту доставки. Для цього необхідно прогнозувати можливі наслідки керуючих рішень на кілька кроків вперед [5]. Завдання оперативного управління вибором маршруту доставки потребує залучення додаткових методів, серед яких добре зарекомендували себе методи, що ґрунтуються на представленні сукупності типових станів системи у вигляді вузлів графа, переходи якого відповідають керуючим рішенням. Ситуаційну мережу S_{NET} подано у вигляді орієнтованого графа $S_{NET}=(W, A)$, де W – множина вузлів – станів, а A – множина дуг-переходів між станами.

$$S_{NET} = (W, A);$$

$$W = \{w_i | i = 1, \dots, N_w\};$$

$$A = \{a_{i,j} | i = 1, \dots, N_w; j = 1, \dots, N_w\}.$$

Метод виведення за допомогою нечіткої ситуаційної мережі ґрунтується на визначенні зв'язаного підграфа, що містить певний початковий стан мережі w' , щодо якого ведеться пошук.

$$S'_{NET} = (W', A');$$

$$W' \subset W, w' \in W';$$

$$A' = \{a_{i,j} | w_i, w_j \in W'\}.$$

Отже, необхідним є створення імітаційної моделі для прийняття оперативних рішень у разі виникнення "непередбачуваної ситуації" на маршруті у вузлі W_j , коригування опорного плану та вибору нового маршруту доставки у напрямку м. Харків – м. Ізюм, що є можливим за допомогою розробки програмного продукту, який поєднує у собі інтегрований набір програмних продуктів ArcGIS та інструменти, що ідентифікують виникнення «непередбачуваної ситуації» та відслідковують місцезнаходження транспортного засобу (ТЗ) в режимі реального

часу (карта загроз артобстрілів та ракетних небезпек, GPS-дані), задіяні для виконання перелічених задач з мінімізацією втручання людського фактору [7].

Задіяння програмного компоненту ArcGIS у функціонуванні запропонованого програмного продукту необхідне для створення інтерактивної карти автомобільних доріг Харківської області - ArcMap, яка є основою для визначення та відображення можливих (альтернативних) маршрутів, вводу і компіляції географічної інформації, що дозволить ідентифікувати виникнення «непередбачуваної ситуації» в режимі реального часу, та проведення мережевого аналізу з метою визначення нового оптимального маршруту.

Інтерактивна карта ArcGIS представляє собою набір мережевих даних що відображає, поєднує та синтезує значні шари географічної та описової інформації з різних джерел, який створюється в інструменті ArcCatalog за допомогою модулю ArcGIS Network Analyst. Система ArcGIS має певний набір базових карт (топографія, зображення вулиць, гідрологія тощо), після вибору якої є можливим створення необхідної карти шляхом додавання шарів робочих даних. Для створення шару робочих даних попередньо необхідно провести збір географічних даних про автомобільні дороги Харківської області (можливе вказання напрямку руху, обмежень швидкості, типу дороги тощо) з офіційних карт, даних від урядових установ, GPS-даних тощо, обробити та конвертувати їх у формат, який підтримується системою ArcGIS. Підготовлені дані імпортуються з персонального комп'ютера до системи за допомогою меню «Add Data» для подальшого відображення в новому робочому шарі. Після додавання даних до шару налаштовуються атрибути доріг (швидкість руху, тип дороги тощо) та параметри мережі, необхідні для подальшої застосування та роботи (тип дозволеного руху, обмеження швидкості тощо), встановлюються зв'язки між сегментами доріг та перевіряється маршрутизація між точками, додаються необхідні елементи мережі (назви місцевостей, тощо), або навіть додаткові шари (наприклад, бензозаправні станції, які знаходяться поблизу автомобільних доріг), редагується і стилізується стиль відображення. Розроблений набір мережевих даних імпортується в ArcMap, що робить карту остаточно готовою для подальшого використання в запропонованому програмному продукті. Усі отримані дані система ArcGIS зберігає в базі географічних даних системи.

Ідентифікація виникнення непередбачуваної ситуації, що представляє собою стан постійної зміни інформації, системою ArcGIS можлива за допомогою створення карти статусу ситуації з панеллю реального часу шляхом застосування компіляції та синтезації географічних даних, що змінюються в режимі реального часу, з декількох джерел в один зв'язаний географічний вид. До таких джерел даних відносяться географічні бази даних, файли, електронні таблиці, фотографії та відео з географічними мітками, дані реального часу з датчиків, аерокосмічні та супутникові зображення, GPS координати, веб-сайти тощо. Для створення такої карти для подальшого застосування в запропонованому програмному продукті необхідно на ключові робочі шари створеної карти автомобільних доріг Харківської області накласти додатковий шар з бази даних зі змінами у реальному часі, інформація про які надходить з веб-сайту <https://map.ukrainealarm.com/> (офіційна карта повітряних тривог України). Таким чином, система ArcGIS постійно буде отримувати оперативну та оновлену картину про поточний стан повітряних тривог на території України, конвертувати отримані дані в форму, що підходить для роботи в обраній процедурі, та прорисовувати їх на карті.

За аналогічним алгоритмом створюється робочий шар, який в режимі реального часу дозволяє відслідковувати місцезнаходження транспортного засобу та відображати його на карті.

Після того, як розроблено цей компонент запропонованого програмного продукту, необхідний для визначення можливих (альтернативних) маршрутів та збору актуальних даних про виникнення непередбачуваної ситуації, необхідно перейти до вирішення задачі коригування опорного плану та вибору нового оптимального маршруту. Реалізація цієї функції так само буде відбуватися за допомогою системи ArcGIS, а саме шляхом додавання нового робочого шару мережевого аналізу до попередньо створеної карти. Вибір оптимального маршруту системою ArcGIS відбувається за допомогою інструменту маршрутизації Network Analyst та функції «New Route» (Новий маршрут) на основі критеріїв оптимізації, визначення яких відбувається за допомогою багатокритерійного вибору на основі методу аналізу ієрархій.

Метод аналізу ієрархій передбачає математичну обробку експертних оцінок на основі матричних обчислень та адитивної згортки критеріїв. У методі аналізу ієрархій ієрархія є основним способом подання структури прийняття рішень. Основне призначення ієрархії полягає в структуруванні складної проблеми для кількісної оцінки варіантів. Наприклад, для ієрархії на рисунку 4 визначаються пріоритети альтернатив нижчого рівня (можливі нові маршрути) за кожним критерієм другого рівня (часткові критерії: довжина, час у дорозі, марка автомобіля, стан дороги, час доби), які в свою чергу використовуються для синтезу пріоритетів альтернатив за головним критерієм (новий маршрут). Першим етапом у вирішенні задач прийняття рішень є декомпозиція проблеми шляхом визначення її компонентів та відносин між ними, тобто побудова ієрархії задачі прийняття рішень. Загальні рекомендації можуть бути такими: основні цілі встановлюються у вершині ієрархії, підцілі – безпосередньо нижче, сили, що впливають на підцілі – ще нижче. На самому нижчому рівні ієрархії слід розміщувати можливі результати (альтернативи, сценарії і т.д.).

Після визначення критеріїв оптимізації необхідно обрати відповідну модель прийняття рішень, за допомогою якого буде відбуватися вибір оптимального маршруту з урахуванням зазначених критеріїв інструментом



Рис. 4. Вибір нового маршруту методом аналізу ієрархій

маршрутизації Network Analyst. Можна виділити декілька задач прийняття рішень на основі нечітких множин, які є зручним інструментом для формалізації експертної інформації: модель моделі максимінної згортки, модель абсолютного рішення, модель основного параметра, модель компромісного параметра, модель еталонного порівняння.

Однак, кожна модель має свої переваги та недоліки, що заважає однозначно визначитися, який саме алгоритм застосовувати в запропонованому програмному продукті. Для вирішення цього питання необхідно розробити окремі ситуаційні моделі визначення оптимального маршруту із застосуванням кожної моделі за допомогою програмного забезпечення для моделювання систем Simul8.

Програмне забезпечення Simul8 використовується для створення імітаційних моделей та систем з метою візуалізації та аналізу їх функціонування експериментальним шляхом на основі встановлення необхідних параметрів, вводу різноманітних умов та сценаріїв.

Так, у редакторі Simul8 необхідно створити модель, тобто мережу логістичних шляхів та транспортних зв'язків, яка представляє собою можливі маршрути та варіанти переміщення з визначенням всіх потрібних ресурсів, точок маршрутів, параметрів обробки та будь-яких інших факторів, що впливають на вибір оптимального маршруту. Наступним кроком визначаються критерії оптимальності, які будуть використовуватися для вибору маршруту – час, відстань, безпека та пропускна здатність, після чого розробляється логіка прийняття рішень, тобто по черзі обираються та відтворюються розглянуті моделі прийняття рішень за допомогою блоків та скриптів програмування на основі визначених критеріїв, та запускається симуляція – тестування роботи мережі за заданим алгоритмом. Надалі аналізуються отримані результати функціонування мережі при кожній окремій моделі, проводиться оцінка того, чи задовольняє маршрут визначені критерії оптимальності, на основі чого обирається найкраща модель, яка буде застосовуватися у роботі запропонованого програмного продукту та додатково перевіряється на стабільність та оптимальність в різних умовах.

Отже, після визначення найкращої моделі як логіки прийняття рішення з вибору оптимального маршруту слідування розробляється компонент запропонованого програмного продукту, за допомогою якого буде здійснюватися вибір оптимального маршруту. В системі ArcGIS в робочому шарі мережевого аналізу, який створено за допомогою додаткового модулю Network Analyst та функції «New Route» (Новий маршрут), додаються точки, між якими потрібно знайти оптимальний маршрут. Точкою початку руху визначається GPS координата, у якій в реальному часі знаходиться транспортний засіб, а точкою призначення – місто Ізюм. Додатково задається такий клас мережевого аналізу як точкові бар'єри (Point Barriers) – це ті точки або області на карті, на які розповсюджується вплив повітряної тривоги, і які при прокладанні маршруту програмний засіб буде уникати (далі – бар'єр). Надалі програмуються параметри для аналізу, а саме визначені критерії оптимальності та обрана за допомогою програмного забезпечення Simul8 модель прийняття рішення, враховуються бар'єри. Після встановлення усіх параметрів запускається сам аналіз і система визначає новий оптимальний маршрут від м. Харків до м. Ізюм та відображає його на карті.

Отже, при поєднанні всіх зазначених компонентів розробляється програмний продукт, який комплексно дозволяє вирішити поставлені задачі. Детальний алгоритм роботи запропонованого програмного продукту в режимі реального часу представлено на рисунку 5.

Слід зазначити, що функціонування запропонованого програмного продукту було розглянуто на прикладі відокремленого напрямку – м. Харків – м. Ізюм. Однак, запропонований алгоритм роботи дозволяє маршрутизувати весь зазначений опорний план. Для цього необхідно зібрати дані та створити такий набір мережевих даних, як карту автомобільних доріг європейського континенту, а можливість додавання необмеженої кількості робочих шарів дозволяє додати до карти такі дані як затори, аварійні ситуації, обмеження руху та ремонтні роботи на дорогах для того, щоб ідентифікувати ці дані як «непередбачувану ситуацію» і в подальшому приймати їх до розгляду в якості основних бар'єрів, через які виникає необхідність корегування наявного маршруту, під час руху країнами Європи, та додаткових бар'єрів під час переміщення територією України.

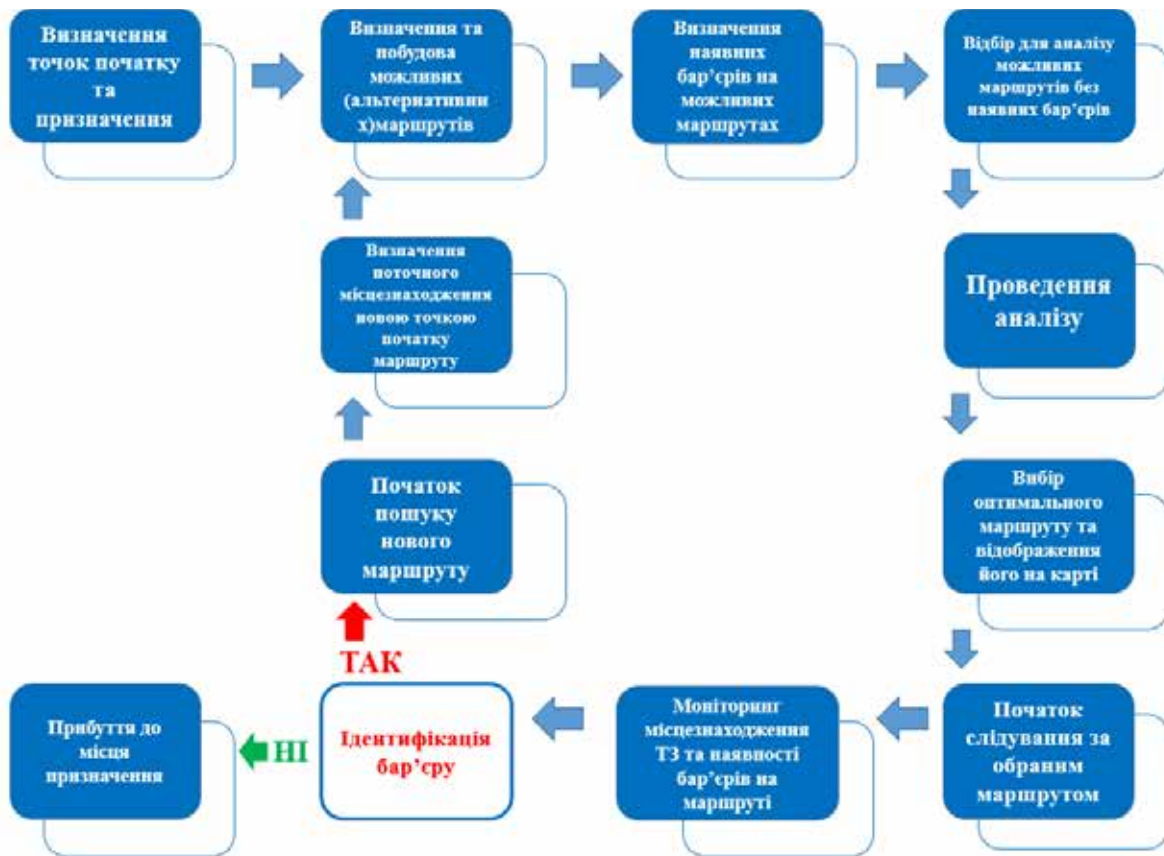


Рис. 5. Алгоритм роботи запропонованого програмного продукту

Висновки. Розроблена концепція програмного продукту представляє собою інноваційний підхід до вирішення важливої проблеми доставки гуманітарних вантажів у зону конфлікту. Одним із найкритичніших аспектів цієї задачі є забезпечення безпеки гуманітарних місій, зокрема мінімізація ризику під час доставки вантажів під ворожі обстріли.

В рамках розробленої концепції визначено функціональні можливості програмного продукту, які дозволяють ефективно реалізувати вищезазначений аспект. Детально розглянуті компоненти окремих програмних забезпечень та їх функціональні складові, які, взаємодіючи, створюють надійну основу досліджуваного програмного продукту.

Однією з ключових особливостей є можливість маршрутизації всього опорного плану за допомогою розробленого програмного продукту. Це дозволяє оптимізувати маршрути доставки, враховуючи різні аспекти безпеки та шляхи, які мінімізують ймовірність потрапляння під ворожі обстріли.

Для досягнення цієї мети використовується концепція ситуаційного вибору маршруту на основі нечіткої ситуаційної транспортної мережі. Цей підхід є важливою складовою логічного аспекту функціонування розробленого програмного продукту, надаючи йому гнучкість та адаптивність до змінних ситуацій на маршруті доставки гуманітарних вантажів.

Отже, представлена концепція не лише вирішує практичні проблеми безпеки гуманітарних місій, але і впроваджує інноваційні підходи до оптимізації логістики та маршрутизації у сфері гуманітарних перевезень.

Список використаних джерел

1. Гвоздинський А. М. Дослідження інтелектуальних методів розв'язання оптимізаційних задач транспортного типу / А. М. Гвоздинський, М. Б. Обізна. *Радиоелектроніка та інформатика*. 2013. № 4. С. 35–39.
2. Задоров В. Б. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації до планування вантажних перевезень / В. Б. Задоров, О. В. Федусенко, А. О. Федусенко. *Управління розвитком складних систем*. 2010. № 2. С. 27–31.
3. Петренко О. Я. Географічний та просторовий аналіз даних засобами ArcGIS: Навчальний посібник. К: ПІДО НУХТ, 2017. 96 с.
4. Петренко О. Я. Побудова електронної карти засобами ArcGIS: Навчальний посібник. К: ПІДО НУХТ, 2015. 96 с.
5. Петренко О. Я. Управління географічними даними засобами ArcGIS: Навчальний посібник. К: ПІДО НУХТ, 2016. 70 с.
6. Томашевський В. М. Моделювання систем: Підручник. К: Видавничка група ВНУ, 2005. 325 с.
7. Федоренко І. Імітаційне моделювання логістичних процесів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2016. 8(185): 38–44.
8. Altay N. Challenges in humanitarian information management and exchange: evidence from Haiti / N. Altay, M. Labonte. *Disasters*. 2014. № 38, pp. 50–72.

9. Balcik B. Last mile distribution in humanitarian relief / B. Balcik, B. M. Beamon, K. J. Smilowitz. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 328. 2008. № 12. P. 51–63
10. Beresford A. Humanitarian aid logistics: a Cardiff University research perspective on cases, structures and prospects / A. Beresford, S. Pettit. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. 2021. № 11. pp. 623–638.
11. Giaglis G. M. Minimizing logistics risk through real-time vehicle routing and mobile technologies : Research to date and future trends / G. M. Giaglis, I. Minis, A. Tatarakis, V. Zeimpekis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2004. Vol. № 34. P. 749–764.
12. Malhouni Y. Mitigating risks and overcoming logistics challenges in humanitarian deployment to conflict zones: evidence from the DRC and CAR / Y. Malhouni, C. C. Mabrouki. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. 2023.
13. Ozdamar L. Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics / L. Ozdamar, M. A. Ertem. *European Journal of Operational Research*. 2015. № 244 (2015). P. 55–65
14. Stapleton O. Last mile vehicle supply chain in the International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies / O. Stapleton, A. Pedraza-Martinez, L. N. Van Wassenhove. *SSRN Electronic Journal*. 2009. № 7. p. 29–48.
15. Szucs G. Decision support for route search and optimum finding in transport networks under uncertainty. *Journal of Applied Research and Technology*. 2015. Vol. № 13. P. 125–134.7.

Pomazkov M. V.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Senior Lecturer at the Department of Automobile Transport
Azov State Technical University
Dnipro, Ukraine
E-mail: pomazkovmik1@gmail.com
ORCID: 0009-0008-8787-2907*

Mnatsakanian M. S.

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Systems Analysis and Information Technologies
Mariupol State University
Kyiv, Ukraine
E-mail: m.s.mnatsakanian@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1829-2334*

Manyk I. S.

*Master of the Department of Automobile Transport
Azov State Technical University
Dnipro, Ukraine
E-mail: manikirina0306@gmail.com
ORCID: 0009-0003-9233-3311*

MODELING OF INTELLIGENT ROUTES OF HUMANITARIAN CARGO TRANSPORTATION IN WARTIME CONDITIONS

Abstract

The article analyzes the largest humanitarian crisis in Europe since World War II, stemming from the full-scale military aggression initiated on the territory of Ukraine in February 2022. The escalation of the conflict has led to a significant increase in humanitarian aid; however, its delivery and distribution face challenges due to the destruction of transportation and communication infrastructure. The article proposes the use of the ArcGIS system to develop a software product that, in real-time, will chart an optimal and secure route for delivering humanitarian cargo, avoiding risks, and reducing human intervention. Utilizing geographical data from various sources, such as GPS, aerospace, and satellite imagery, along with information from local websites, will enable the creation of a status map and ensure efficient management of humanitarian aid. The article also explores the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to determine optimization criteria and select the optimal route. This approach considers partial criteria, including route length, travel time, vehicle type, and others, to identify new routes in the conditions of a military conflict. The provided recommendations and methods facilitate the creation of an innovative tool for effective humanitarian aid management in the context of armed conflict, ensuring safety and delivery efficiency in Ukraine. The development of such a tool not only streamlines the delivery of humanitarian assistance but also helps mitigate threats to the safety of workers and aid recipients, contributing to the provision of necessary resources in emergency situations.

Key words: humanitarian cargo, geographic information systems, fuzzy logic, situational transport network.

References

1. Hvozdytskyi, A.M., & Obizna, M.B. (2013). Doslidzhennia intelektualnykh metodiv rozv'iazannia optymizatsiinykh zadach transportnoho typu [Research of Intelligent Methods for Solving Optimization Problems of Transportation Type *Radioelektronika ta informatyka*. Vol. 4. P. 35–39 [in Ukrainian]
2. Zadorov, V.B., Fedusenko, O.V., Fedusenko, O.A. (2010). Zastosuvannia metodiv bahatokryterialnoi optymizatsii do planuvannia vantazhnykh perevezen [Application of Multi-Criteria Optimization Methods for Cargo Transport Planning]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*. Vol. 2. P. 27–31 [in Ukrainian]
3. Petrenko, O.Y. (2015). Heohrafichniy ta prostorovyi analiz danykh zasobamy ArcGIS [Building an Electronic Map Using ArcGIS]. K: IPDO NUHT, 96 p. [in Ukrainian]
4. Petrenko, O.Y. (2017). Pobudova elektronnoi karty zasobamy ArcGIS [Geographic and Spatial Data Analysis Using ArcGIS]. K: IPDO. 96 p. [in Ukrainian]
5. Petrenko, O.Y. (2016). Upravlinnia heohrafichnyimi danymi zasobamy ArcGIS [Managing Geographic Data Using ArcGIS]. K: IPDO NUHT. 70 p. [in Ukrainian]
6. Tomashivskiy, V.M. (2005). Modeliuvannia system [Modeling Systems]. K: Publishing Group BHV. 325 p. [in Ukrainian]
7. Fedorenko, I. (2016). Imitatsiine modeliuvannia lohistychnykh protsesiv [Simulation Modeling of Logistic Processes]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, 8(185), 38 [in Ukrainian]
8. Altay, N. (2014). Challenges in humanitarian information management and exchange: evidence from Haiti / N.Altay, M. Labonte. *Disasters*. 2014. № 38, pp. 50–72 [in English]
9. Balcik, B. (2008). Last mile distribution in humanitarian relief / B. Balcik, B. M. Beamon, K. J. Smilowitz. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 12. P. 51–63 [in English]
10. Beresford, A., & Pettit, S. (2021). Humanitarian aid logistics: a Cardiff University research perspective on cases, structures and prospect. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. 11. pp. 623–638 [in English]
11. Giaglis, G.M., Minis, I., Tatarakis, A., & Zeimpekis, V. (2004). Minimizing logistics risk through real-time vehicle routing and mobile technologies : Research to date and future trends. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol. № 34. P. 749–764 [in English]
12. Malhouni, Y., & Mabrouki, C. (2023). Mitigating risks and overcoming logistics challenges in humanitarian deployment to conflict zones: evidence from the DRC and CAR. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* [in English]
13. Ozdamar, L., & Ertem, M.A. (2015). Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics. *European Journal of Operational Research*. 244 (2015). P. 55–65 [in English]
14. Stapleton, O., Pedraza-Martinez, A., & Van Wassenhove, L.N. (2009). Last mile vehicle supply chain in the International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. *SSRN Electronic Journal*. 7. p. 29–48 [in English]
15. Szucs, G. (2015). Decision support for route search and optimum finding in transport networks under uncertainty. *Journal of Applied Research and Technology*. Vol. № 13. P. 125–134.7 [in English]

УДК 620.179.16: 620.179.17

Сучков Г. М.

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики
Заклад вищої освіти «Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна
E-mail: hpi.suchkov@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1805-0466

Мигущенко Р. П.

доктор технічних наук, професор,
проректор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,
Заклад вищої освіти «Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна
E-mail: mrp1@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3287-9772

Кошкарів Ю. Ю.

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
факультету озброєння та військової техніки
Заклад вищої освіти «Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна
E-mail: koshkarov@meta.ua
ORCID: 0000-0003-1430-0154

Бойко В. М.

Начальник воєнно-наукового відділу штабу Командування Сил логістики Збройних Сил України
Київ, Україна
E-mail: vicboy@i.ua
ORCID: 0000-0002-1422-481X

Донченко А. В.

аспірант кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики
Заклад вищої освіти «Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна
E-mail: donchenko.a@gmail.com
ORCID: 0009-0006-0559-0160

СТАН РОЗВИТКУ ПОРТАТИВНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ, КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ФЕРОМАГНІТНИХ МЕТАЛОВИРОБІВ (ОГЛЯД)

Анотація

Виконано аналіз інформаційних джерел з питання розробки та використання електромагнітно-акустичних методів і засобів ультразвукового контролю, вимірювань та діагностики. Встановлено широке використання електромагнітно-акустичних перетворювачів для визначення якості труб, рейок, листів тощо, виготовлених з феромагнітних матеріалів. Показано, що значні переваги електромагнітно-акустичних перетворювачів по відношенню до контактних проявляються при неруйнівному ультразвуковому контролі металовиробів в потоці виробництва з високою продуктивністю та значною економічною ефективністю, обумовленою не використанням контактної рідини, відсутністю операцій спеціальної підготовки поверхні об'єкту контролю, можливістю діагностики холодних та гарячих матеріалів. Результати вимірювань трубчатих виробів майже не залежать від кривизни їх поверхні. Нові розробки безконтактних перетворювачів дозволяють вимірювати товщину металу без врахування діелектричних покриттів товщинами до 10 мм, а в багатьох випадках і більше. На відміну від фрагментарних даних, наведених в літературних джерелах, виявлені більшість переваг і недоліків електримагнітно-акустичних методів і перетворювачів ультразвукового контролю, вимірювань і діагностики. Встановлено, що головною

перевагою і одночасно недоліком є використання потужних магнітів в складі портативних перетворювачів для ультразвукового контролю виробів з феромагнітних матеріалів. Складність сканування, велика сила притискання до об'єкту контролю, налипання феромагнітних часток потребує нових технічних рішень при побудові безконтактних перетворювачів. Виключення вказаного важливого недоліку можливо за рахунок використання імпульсних джерел формування магнітного поля, що ускладнює конструкцію перетворювачів і вимагає використання більш потужних джерел живлення для портативних електромагнітно-акустичних приладів.

Ключові слова: ультразвук, вимірювання, контроль, діагностика, ЕМАП.

Вступ. Для виявлення внутрішніх та поверхневих дефектів в феромагнітних металовиробах частіш за все використовують ультразвукові методи контролю з нанесенням контактної рідини [5; 20; 21]. Для цього обов'язково необхідно видалити з поверхні об'єкту контролю (ОК) бруд, іржу, зменшити шорсткість тощо, що вимагає суттєвих витрат часу та інструменту. Складнощі мають місце при контролі ОК із значною кривизною поверхні, в горячому або холодному стані. Продуктивність автоматичної діагностики труб, листів заготовок тощо не перевищує 1 м/с, а при ручному контролі – не більше 100 мм/с.

На цей час широко використовують електромагнітно – акустичні (ЕМА) засоби та методи ультразвукового контролю [3; 6; 8; 14; 18; 25; 32; 35], які не потребують використання контактної рідини, оскільки випромінюючим та приймаючим елементом у цьому випадку є електропровідний та/або феромагнітний тонкий поверхневий шар ОК що діагностується, а середовищем, що передає енергію, є магнітне та електромагнітне поля. Але впровадження ЕМА методів неогрунтовано обмежене з причини недостатнього аналізу нових досліджень і розробок.

Мета роботи. Поставлено завдання виконати аналіз переваг і недоліків ЕМА методів і портативних засобів вимірювань, контролю та діагностики і визначити напрямки підвищення їх ефективності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Головні переваги технології ЕМА контролю та вимірювання в порівнянні з традиційними контактними методами. В основному раніше переваги ЕМА методів і портативних приладів з використанням постійних магнітів були розглянуто вибірково. Тому нижче виділимо такі переваги для областей важливого використання:

- ЕМА метод дозволяє реалізувати всі відомі методи ультразвукового контролю, вимірювань та діагностики [4; 8; 10; 13; 14; 16; 19; 25; 35];
- ЕМА способом можливо збуджувати і приймати ультразвукові коливання усіх відомих типів хвиль: об'ємні зсувні [32] та поздовжні [35], рис. 1, горизонтально поляризовані SH хвилі [6; 14], хвилі Релея [6; 8] та Лемба [25];
- він забезпечує збудження та прийом зсувних ультразвукових імпульсів нормально до поверхні ОК незалежно від її кривизни [8; 14; 32]. Поляризація таких імпульсів може бути як лінійною, рис. 1, так і радіальною;
- збуджувані ЕМАП зсувні ультразвукові імпульси мають набагато вищу чутливість щодо виявлення надтонких розшарувань, наприклад, в листах [23; 25], рис. 2, залізничних рейках [15; 22], рис. 3, трубах [18] тощо;
- зчутливість до корисного сигналу для ЕМАП вища, ніж для ПЕП при низьких температурах ОК, рис. 4.
- ЕМАП дозволяють виконувати ультразвуковий контроль в сталях з температурою до 1200 °С [2; 14], що неможливо ПЕП;
- зсувні імпульси мають приблизно вдвічі меншу швидкість розповсюдження в матеріалі, в порівнянні з поздовжніми, що надає перевагу при товщинометрії та визначенні роздільної здатність щодо визначення координат дефектів [4], які розташовані поряд;
- ЕМАП може збуджувати та приймати зсувні ультразвукові коливання в широкому діапазоні частот, що дозволяє збільшити точність вимірювань в порівнянні з стандартними ПЕП [12];
- одним ЕМАП можливо збуджувати і приймати одночасно кілька видів ультразвукових хвиль [35], що неможливо ПЕП;

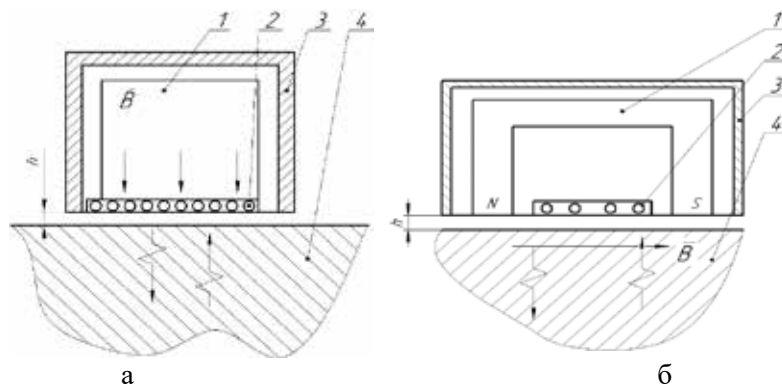


Рис. 1. Моделі збудження зсувних (а) та поздовжніх (б) ультразвукових хвиль, де:
1 – магніт; 2 – високочастотна котушка індуктивності ЕМАП; 3 – корпус; 4 – об'єкт контролю;
В – індукція магнітного поля; h – відстань від перетворювача до поверхні ОК

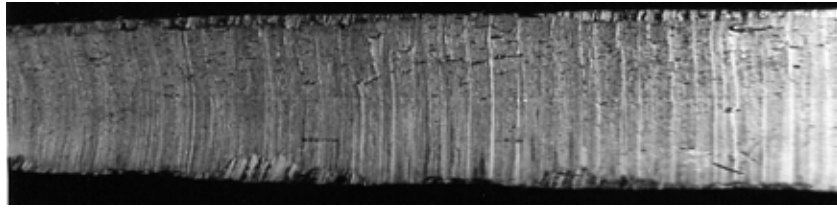


Рис. 2. Надтонкий дефект в перетині металевого листа, який виявлено тільки ЕМАП

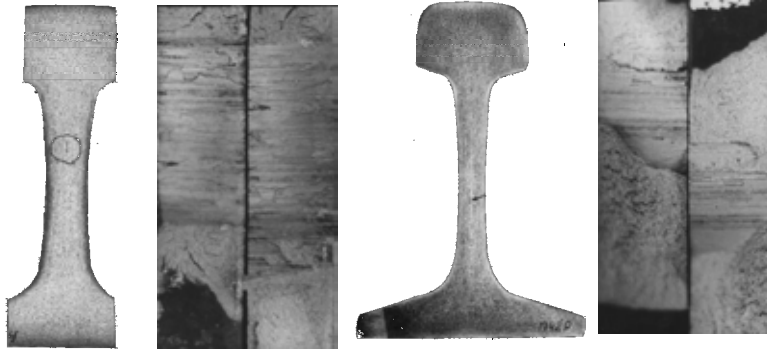


Рис. 3. Надтонкі дефекти що виявлені ЕМАП, в шийці залізничних рейок і їх крихкі злами

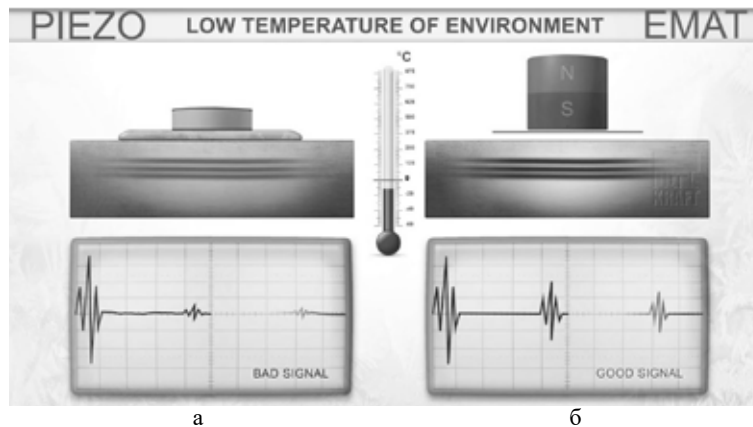


Рис. 4. Різниця прийнятого ультразвукового донного сигналу для контактного (а) та для ЕМА методу контролю (б) при низьких температурах

- змінюючи частоту імпульсів живлення одного ЕМА перетворювача можливо сканувати об'єм виробу під різними кутами введення ультразвукових променів [14];
- ЕМА метод дозволяє проводити контроль через діелектричні покриття товщиною до 20 мм [4; 9] та електропровідні прошарки товщиною кілька десятків міліметра;
- іржа, невідлущена нетовста окалина, шар рідини та бруду, шорсткість поверхні ОК не впливають на результати вимірювань об'ємними зсувними хвилями [3], збуджених ЕМАП;
- ЕМАП не навантажує акустично поверхню ОК, що виключає проблеми, які пов'язані з ревербераційними процесами в шарі контактної або імерсійної рідини у випадку використання ПЕП [7];
- економічні витрати, за рахунок виключення зачистки поверхні ОК при використанні ЕМАП, зменшуються майже в 2 рази [14];
- ЕМА метод забезпечує можливість виявлення відшарування діелектричного покриття за рахунок збудження і прийому ультразвукових імпульсів ЕМАП виключно в поверхневому шарі металевго ОК [11];
- за рахунок форми високочастотної котушки індуктивності ЕМАП [8; 29] забезпечується можливість фокусувати ультразвукове поле в заданому місці поверхнього шару або в об'ємі ОК;
- ЕМА метод дозволяє виконувати ультразвуковий контроль та дефектометрію зсувними ультразвуковими імпульсами без неконтрольованого поверхнього шару металу ОК [13];
- при певних умовах ЕМАП дають можливість проводити ультразвуковий контроль феромагнітних металовиробів при індукції магнітного поля 0,2...0,3 Тл [14];
- ЕМА методом ефективно вимірюються фізико – механічні характеристики матеріалів [24].

Недоліки засобів та технологій ЕМА вимірювання, контролю та діагностики з використанням постійних магнітів. Вважається, що ЕМА метод та ЕМАП мають наступні недоліки:

- має порівняно низька чутливість щодо інформаційного сигналу [10];
- зміна величини зазору між ЕМАП і металічною поверхнею ОК [15; 17;] впливає на зміну на амплітуді інформаційного сигналу експоненційно;
- при контролі феромагнітних ОК зазор між ЕМАП і металовиробом заповнюється іржею, окалиною, частинками металу тощо, що приводить до зниження чутливості (екранування), а також до появи когерентних імпульсів завад зі значною амплітудою [15];
- при ручному контролі ЕМАП з постійними магнітами складно видаляти металічні частинки з феромагнітного матеріалу, що налипають на перетворювач [10; 15];
- необхідно надійно захищати перетворювач від електромагнітних завад [30];
- ЕМАП сильно притискається до феромагнітного ОК [14];
- для ЕМАП з потужними магнітами [28] необхідно використовувати механічні системи для сканування, що ускладнює його конструкцію;
- можливе збудження ультразвукових когерентних завад в металічних елементах ЕМАП та в магніті [14].

Аналіз переваг і недоліків засобів та технології ЕМА вимірювання, контролю та діагностики та перспективи розвитку. З аналізу переваг і недоліків ЕМА перетворювачів та методів контролю встановлено значний інтерес до їх розвитку, оскільки на сьогоднішній день більшості навчальної літератури є відповідні розділи [20; 21].

Зважаючи на суттєві переваги ЕМА методу контролю, значне застосування він знайшов в основному в автоматичних установках діагностики прокату з феромагнітних сталей [31], який виготовляється у світі сотнями мільйонів тон. В портативних приладах його можливості обмежені складністю реалізації, значною величиною індукції магнітного поля і силою струмів в котушках індуктивності перетворювачів. Проте потреба в таких портативних приладах значна [10; 14; 17; 26; 33; 34].

З наведених вище даних випливає, що складність реалізації ЕМА методу компенсується разовими витратами на розробку, в той час як контактний метод ультразвукового контролю потребує постійних економічних втрат на зачистку поверхні кожного виробу, знос інструменту і ПЕП, а також витрат на контактну рідину [14].

Використання сучасних напівпровідникових елементів забезпечує пікову силу струму в котушках індуктивності ЕМАП в сотні ампер [24; 27].

Найбільш складною проблемою являється створення ЕМА перетворювачів для ультразвукових вимірювань з мінімально можливою величиною індукції поляризованого магнітного поля. Але при цьому виникає протиріччя, оскільки для отримання достатньої величини амплітуди корисного сигналу магнітне поле необхідно формувати максимальним.

Відомі магнітні системи [1], що використовують імпульсні електромагніти, які створюють потужне магнітне поле на час порядку декількох мілісекунд, тому сильне протягування до феромагнітних матеріалів практично відсутнє. Величини магнітної індукції, які створюються імпульсними електромагнітами, можуть перевищувати в кілька разів значення, що формуються магнітними системами портативних приладів з використанням постійних магнітів.

Останнім часом почалися розробки перетворювачів з імпульсними магнітами. Це стало можливим шляхом використання портативних потужних напівпровідникових комутаторів струму [19; 27]. Показано, що для зменшення тепла, яке виділяється в імпульсному магніті без охолодження частота зондування ОК не повинна перевищувати 20...50 Гц. Для частот до 100 Гц достатньо охолодження струменем повітря [14; 16; 19; 27; 32]. Аналіз результатів використання постійних та імпульсних магнітів в складі портативних ЕМАП дав можливість зробити наступні висновки.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Встановлено, що портативні ЕМАП з постійними магнітами мають переваги перед ПЕП при контролі феромагнітних ОК, в тому числі з діелектричними покриттями товщиною до 10...20 мм без зачищення поверхні. Вони повинні використовувати індукцію магнітного поляризованого поля 0,2...0,5 Тл. При цьому амплітуда інформаційного сигналу забезпечується силою струму в високочастотній котушці індуктивності.

Відомі портативні ЕМА перетворювачі з імпульсними магнітами забезпечують збудження і прийом ультразвукових імпульсів усіх відомих типів хвиль. Для реалізації таких перетворювачів необхідні потужні джерела живлення з низьким імпедансом, а також швидкодіючі комутатори струму, що забезпечується сучасними засобами. Для зменшення тепла, що виділяється в імпульсному магніті без охолодження частота зондування ОК не повинна перевищувати 20...50 Гц. Для частот до 100 Гц достатньо повітряного охолодження. Повітряний зазор або діелектричний прошарок може досягати 0,2...0,5 мм, що забезпечує діагностику більшості металовиробів з фарбованими покриттями.

Таким чином, використання імпульсних джерел поляризованого магнітного поля в портативних приладах з ЕМА перетворювачами потребує додаткових досліджень і розробок в напрямку збільшення величини пікової індукції магнітного поля, зменшення габаритних розмірів та енергетичних втрат, покращення теплових характеристик, збільшення зазору між ЕМАП і поверхнею металу.

Список використаних джерел

1. Боллох В. Ф., Кочерга О. І., Щукін І. С. Порівняльний аналіз конструктивних типів комбінованих лінійних імпульсних електромеханічних перетворювачів. *Технічна електродинаміка*. 2018. № 4. С. 84–88. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.084>.
2. Вілсон Д. М., Коул П. Т., Уїтінгтон К. Р. Розробка електромагнітно-акустичної системи для неруйнівного контролю сталених стрижнів при високій температурі. Зб. доп. міжнародної конференції з неруйнівного контролю. Канни. 1976. (Переклад № 9419/3).
3. Гарькавий В. В., Сучков Г. М., Срокін В. І. та ін. Дослідження макроструктури рейок з допомогою ультразвуку. Підвищення якості залізничних рейок і коліс : галуз. зб. наукових праць. Харків: УкрНДІМет, 1982. С. 84–86.
4. Десятніченко О. В. Електромагнітно-акустичний товщиномір для контролю металовиробів з діелектричними покриттями: дис. канд. техн. наук: 05.11.13. Харків, 2015. 172 с.
5. Карпаш М. О., Рибіцький І. В., Котурбаш Т. Т., Бондаренко О. Г., Карпаш О. М. Акустичний контроль конструкцій та устаткування у нафтогазовій галузі : монографія. Івано-Франківськ: Вид.-во ІФНТУНГ, 2012. 420 с.
6. Мигущенко Р. П., Сучков Г. М., Петрищев О. М., Боллох В. Ф., Плєснецов С. Ю., Кочерга А. І. Інформаційно-вимірювальні електромеханічні перетворювачі для оцінки якості поверхні феромагнітних металовиробів ультразвуковими хвилями Релея. *Технічна електродинаміка*. 2017. № 2. С. 70–76.
7. Мигущенко Р. П., Сучков Г. М., Радев Х. К., Петрищев О. М., Десятніченко О. В. Електромагнітно-акустичний перетворювач для ультразвукової товщинометрії феромагнітних металовиробів без видалення діелектричного покриття. *Технічна електродинаміка*. 2016. №2. С. 78–82.
8. Плєснецов С. Ю. Розвиток методів та засобів для електромагнітно-акустичного контролю стрижневих, трубчастих та листових металовиробів: автореф. дис. д-ра техн. наук: спец. 05.11.13 «Прилади та методи контролю та визначення складу речовин». Харків, 2021. 40 с.
9. Познякова М. Є., Сучков Г. М., Мигущенко Р. П., Кропачек О. Ю., Донченко А. В. Вдосконалення вимірювального ультразвукового електромагнітно-акустичного перетворювача. *Український метрологічний журнал*. 2023. № 1. С. 27–33. DOI: 10.24027/2306-7039.1.2023.282540.
10. Салам Буссі, Плєснецов С. Ю. Практичні розробки електромагнітно-акустичних перетворювачів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків, 2019. № 26 (1351). С. 57–65.
11. Спосіб вимірювання товщини не електропровідного покриття на електропровідному виробі: пат. 90624 Україна. № u201312275; заявл. 21.10.2013; опубл. 10.06.2014, бюл. № 11/2014.
12. Спосіб ультразвукового контролю виробів широкосмуговим електромагнітним перетворювачем: пат. 71700 Україна. №u201115525; Заявл. 28.12.2011; опубл. 25.07.2012, Бюл №14/2012.
13. Ультразвуковий роздільно-поєднаний електромагнітно-акустичний перетворювач для контролю феромагнітних металовиробів: пат. 116248 Україна. № u201612502; заявл. 08.12.2016; опубл. 10.05.2017, бюл. № 14/2017.
14. Сучков Г. М. Розвиток теорії і практики створення приладів для електромагнітно-акустичного контролю металовиробів: автореф. дис. докт. техн. наук: спец. 05.11.13 «Прилади та методи контролю та визначення складу речовин». Харків, 2005. 42 с.
15. Сучков Г. М. Розробка і впровадження технології безперервного автоматичного виявлення дефектів макроструктури об'ємно - зміцнених рейок безконтактним ультразвуковим методом: дис. канд. техн. наук. 05.02.01. Харків, 1988. 146 с.
16. Сучков Г. М., Донченко А. В. Удосконалення електромагнітно – акустичних перетворювачів для ультразвукового контролю якості феромагнітних металовиробів. Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: зб. тез доповідей міжнародної наукової інтернет-конференції, 6–7 лютого 2023 р., Тернопіль–Перево́рськ (Польща). Вип. 74. Україна, 2023. С. 192–194.
17. Сайт канадської фірми Innerspec [електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.innerspec.com/portable/emat-sensors>. (Дата звернення: 19.09.2021).
18. Сучков Г. М., Катасонов Ю. А., Гарькавий В. В. Можливості безконтактних електромагнітних методів неруйнівного контролю якості труб. Зб. Питання розвитку газової промисловості України. Вип. XXVIII. Діагностування трубопроводів, технологічного і енергомеханічного обладнання нафтової та газової промисловості. УкрНДІГаз. 2000. С. 102–109.
19. Сучков Г. М., Салам Буссі. Електромагнітно-акустичні перетворювачі з імпульсними джерелами поляризованого магнітного поля. *Технічна діагностика і неруйнівний контроль*. 2020. № 1. С. 1–6.
20. Троїцький В. О. Моніторинг стану конструкцій (введення в професію). *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*. 2023. №3. С. 60.
21. Цапенко В. К., Куц Ю. В. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник. Київ, 2010. 448 с.
22. Beaujard L., Mondot I., Vinot J. La methode Ralus de sondage ultrasonore automatique du champignon des rails. *Revue generale des fer*. 1970. No 1. P. 13.
23. Boughedda H., Hacib T., Chelabi M., Acikgoz H., Le Bihan Y. Electromagnetic Acoustic Transducer for Cracks Detection in Conductive Material. 4th International Conference on Electrical Engineering (ICEE). 2015. Pp. 1–4. IEEE Conference Publications. DOI:10.1109/INTEE.2015.7416717.
24. Сайт компанії International Rectifier [електронний ресурс]. Режим доступу: <https://datasheetspdf.com/pdf/643573/InternationalRectifier/IRLB3036PBF/1/>. (Дата звернення: 19.09.2021).
25. Jianpeng He, Steve Dixon, Samuel Hill, Ke Xu. A New Electromagnetic Acoustic Transducer Design for Generating and Receiving S0 Lamb Waves in Ferromagnetic Steel Plate. *Sensors*. 2017. Iss. 17(5). Pp. 10–23. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/s17051023>.
26. Matthias Sehera, Peter B. Nagy On the separation of Lorentz and magnetization forces in the transduction mechanism of Electromagnetic Acoustic Transducers (EMATs). *NDT & E International*. 2016. Vol. 84. Pp. 1–10.

27. Plesnetsov S. Yu., Petrishchev O. N., Mygushchenko R.P., Suchkov G. M., Sotnik S. V., Kropachek O. Yu. Powerful Sources of Pulse High-frequency Electromechanical Transducers for Measurement, Testing and Diagnostics. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2018. № 2. С. 31–35.
28. Hirotsugu Ogi, Masahiko Hirao, Toshihiro Ohtani. (1998). Line-focusing of ultrasonic SV wave by electromagnetic acoustic transducer. The Journal of the Acoustical Society of America. N 1. Volume 103. Issue 5. Pp. 2411–2415. doi.org/10.1121/1.422760.
29. Ohtsuka Y., Yoshimura T., Ueda Y. P2E-6 New Design of Electromagnetic Acoustic Transducer for Precise Determination of Defect. IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings. 2007. Pp. 1609–1612. DOI: 10.1109/ ULTSYM. 2007.405.
30. Riichi Murayama, Kazuo Fujisawa, Hidekazu Fukuoka et Masahiko Hirao (1996) Development of an on-line Evaluation System of Formability in Cold-Rolled Steel Sheets Using Electromagnetic Acoustic Transducers (EMATs)", NDT&E International, Vol, 29, No. 3, pp. 141–146. doi.org/10.1016/0963-8695(94)00008-5.
31. Сайт компанії NORDINKRAFT [електронний ресурс]. Режим доступу: www.nordinkraft.de/. (Дата звернення: 08.05.2020).
32. Salam Bussi, Suchkov G., Mygushchenko R., Kropachek O., Plesnetsov S. (2019). Electromagnetic-acoustic Transducers for Ultrasonic Measurements, Testing and Diagnostics of Ferromagnetic Metal Products. Ukrainian Metrological Journal. No 4. Pp. 41–49. Retrieved from: https://doi.org/10.24027/ 2306-7039.4.2019.195956.
33. Strizhak V.A., Pryakhin A.V. Optimization of the Parameters of the Magnetizing Devices of the Electromagnetic – Acoustic Transducer. Devices and Methods of Measurements. Vol. 14. No 2. Pp. 81–95. DOI: 10.21122/2220-9506-2023-14-2-81-95.
34. Suchkov G.M., Bolyukh V.F., Kocherga A.I., Mygushchenko R.P., Kropachek O.Yu. Increasing the Efficiency of the Surface-Mounted Ultrasonic Electromagnetic-Acoustic Transducer Due to the Magnetic Field Source. *Технічна електродинаміка*. № 2. 2023. С. 3–8. DOI: https://doi.org/10.15407/ techned2023. 02.003
35. Suchkov G.M., Taranenko Yu.K., Khomyak Yu.V. (2016). A Non-Contact Multifunctional Ultrasonic Transducer for Measurements and Non-Destructive Testing. Measurement Techniques. No 12. Vol. 59. Iss. 9. Pp. 990–993. DOI:10.1007/s11018-016-1081-3.

Suchkov G. M.

Doctor of Science, Professor,

*Professor of computer and radioelectronic systems for testing and diagnostics department
Higher Educational Institution National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine*

E-mail: hpi.suchkov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1805-0466

Mygushchenko R. P.

Doctor of Science, Professor

*vice-rector of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Higher Educational Institution National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine*

E-mail: mrp1@ukr.net

ORCID: 0000-0002-3287-9772

Koshkarov Yu. Yu.

PhD, Senior Researcher,

*Leading Researcher of the research laboratory of
Faculty of Weapons and Military Technology
Higher Educational Institution National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine*

E-mail: koshkarov@meta.ua

ORCID: 0000-0003-1430-0154

Boiko V. M.

*Director of military and scientific department of Logistic Command headquarters of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine*

E-mail: vicboy@i.ua

ORCID: 0000-0002-1422-481X

Donchenko A. V.

*post-graduate student of computer and radioelectronic systems for testing and diagnostics department,
Higher Educational Institution National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine*

E-mail: donchenko.a@gmail.com

ORCID: 0009-0006-0559-0160

STATE OF DEVELOPMENT OF PROTABLE ELECTROMAGNETIC-ACOUSTIC TRANSDUCERS FOR MEASUREMENT, TESTING AND DIAGNOSTIC OF FERROMAGNETIC METAL PRODUCTS (OVERVIEW)

Abstract

The analysis of information sources on the development and use of electromagnetic-acoustic methods and means of ultrasonic testing, measurements and diagnostics was performed. The widespread use of electromagnetic-acoustic transducers for determining the quality of pipes, rails, sheets, etc. made of ferromagnetic materials has been established. It is shown that the significant advantages of electromagnetic-acoustic transducers in comparison to contact transducers are manifested in the non-destructive ultrasonic metal products testing in the production flow with high performance and significant economic efficiency, due to the absence of contact fluid, special testing object surface preparation operations, the possibility of diagnosing cold and hot materials. The results of measurements of tubular products are almost independent of their surface curvature. New developments of non-contact transducers make it possible to measure the thickness of metal without taking into account up to 10 mm thick dielectric coatings, and in many cases even more.

In contrast to the fragmentary data given in literary sources, most of the advantages and disadvantages of electromagnetic-acoustic ultrasonic testing methods and transducers, measurements and diagnostics have been revealed. It was established that the main advantage and at the same time disadvantage is the use of powerful magnets as part of transducers for ultrasonic testing of products made of ferromagnetic materials. The complexity of scanning, the great force of pressing against the testing object, the sticking of ferromagnetic particles requires new technical solutions in the design of non-contact transducers.

Eliminating this important drawback is possible due to the use of pulsed sources of magnetic field formation, which complicates the design of transducers and requires the use of more powerful power sources mainly for hand-held electromagnetic-acoustic devices.

Key words: ultrasound, measurement, testing, diagnostics, EMAT.

References

1. Boliukh, V.F., Kocherha, O.I., & Shchukin, I.S. (2018). Porivnialnyi analiz konstruktivnykh typiv kombinovanykh liniynykh impulsnykh elektromekhanichnykh peretvoriuvachiv. [Routine analysis of design types of combined linear pulse electromechanical converters]. *Tekhnichna elektrodynamika*. No 4. P. 84–88 DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.084>. [in Ukrainian].
2. Vilson, D.M., Koul, P.T., & Uittinhton, K.R. (1976). Rozrobka elektromahnitno-akustychnoi systemy dlia neruivnogo kontroliu stalnykh stryzhniv pry vysokih temperaturi [Design of an electromagnetic-acoustic system for non-destructive control of steel rods at high temperatures]. *Zb. dop. mizhnarodnoi konferentsii z neruivnoho kontroliu*. Kanny. (Pereklad No 9419/3) [in Ukrainian].
3. Harkavyi, V.V., Suchkov, H.M., & Srokin, V.I., et al. (1982). Doslidzhennia makrostruktury reioik z dopomohoiu ultrazvuku [Investigation of the macrostructure of slats using ultrasound]. *Pidvyshchennia yakosti zaliznychnykh reioik i kolis [Movement of the sliding rails and wheels]* : haluz. zb. naukovykh prats. Kharkiv: UkrNDIMet, P. 84–86 [in Ukrainian].
4. Desiatnychenko, O.V. (2015). Elektromahnitno-akustychnyi tovshchynomir dlia kontroliu metalovyrobiv z dielektrychnymy pokryttiamy [Electromagnetic-acoustic device for monitoring metals with dielectric coatings]. *Candidate's thesis*. Kharkiv: NTU «KhPI», 172 p. [in Ukrainian].
5. Karpash, M.O., Rybitskyi, I.V., Koturbash, T.T., Bondarenko, O.H., & Karpash, O.M. (2012). *Akustychnyi kontrol konstruksii ta ustatkuvannia u naftohazovii haluzi: monohrafiia*. [Acoustic control of structures and equipment in the oil and gas industry: monograph]. Vyd. IFNTUNH. 420 p. [in Ukrainian].
6. Myhushchenko, R.P., Suchkov, H.M., Petryshchev, O.M., Boliukh, V.F., Pliesnetsov, S.Yu., & Kocherha, A.I. (2017). Informatsiino-vymiriuvalni elektromekhanichni peretvoriuvachi dlia otsinky yakosti poverkhni feromahnitnykh metalovyrobiv ultrazvukovymy khvyliamy Releia. [Information-measuring electromechanical transducers for evaluating the surface quality of ferromagnetic metal products by ultrasonic Rayleigh waves]. *Tekhnichna elektrodynamika*. No 2. P. 70–76. [in Ukrainian].
7. Myhushchenko, R.P., Suchkov, H.M., Radev, Kh.K., Petryshchev, O.M., & Desiatnychenko, O.V. (2016). Elektromahnitno-akustychnyi peretvoriuvach dlia ultrazvukovoi tovshchynometrii feromahnitnykh metalovyrobiv bez vydalennia dielektrychnoho pokryttia. [Electromagnetic-acoustic converter for ultrasonic measurements of ferromagnetic metals without removing the dielectric coating]. *Tekhnichna elektrodynamika*, No 2, P. 78–82. [in Ukrainian].
8. Pliesnetsov, S.Yu. (2021). Rozvytok metodiv ta zasobiv dlia elektromahnitno-akustychnoho kontroliu stryzhnevnykh, trubchastykh ta lystovykh metalovyrobiv [Development of methods and means for electromagnetic-acoustic control of rod, tube and sheet metal products]. *Extended abstract of doctor's thesis*. Kharkiv. 40 p. [in Ukrainian].
9. Pozniakova, M.Ye., Suchkov, H.M., Myhushchenko, R.P., Kropachek, O.Yu., & Donchenko, A.V. (2023). Vdoskonalennia vymiriuvalnogo ultrazvukovoho elektromahnitno-akustychnoho peretvoriuvacha. [Up-to-date vibrational ultrasonic electromagnetic-acoustic conversion device]. *Ukrainskyi metrolohichnyi zhurnal*, No 1. P. 27–33. DOI: 10.24027/2306-7039.1.2023.282540. [in Ukrainian].
10. Salam Bussi, & Plesnietsov, S.Yu. (2019). Praktychni rozrobky elektromahnitno-akustychnykh peretvoriuvachiv. [Practical developments of electromagnetic-acoustic transformers]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Kharkiv. No 26 (1351). P. 57–65. [in Ukrainian].
11. Sposib vymiriuvannia tovshchyny ne elektroprovodnogo pokryttia na elektroprovodnomu vyrobi. [Method of curing a non-electrically conductive coating on an electrically conductive vibrator]. Patent na korysnu model No 90624, G01N29/04. No u2013 12275. Zaiav. 21.10.2013. Nadruk. 10.06.2014. Biul. No 11/2014. [in Ukrainian].
12. Sposib ultrazvukovoho kontroliu vyrobiv shyrokosmuhovym elektromahnitnym peretvoriuvachem. [Method of ultrasonic control of viruses with broad-smooth electromagnetic transformation]. Patent na korysnu model No 71700, G01N29/04. No u2011 15525. Zaiavl. 28.12.2011. Nadruk. 25.07.2012. Biul No14/2014. [in Ukrainian].

13. Ultrazvukoviy rozdilno-poednaniy elektromagnitno-akustichniy peretvoruvfch dla kontrola feromagnitnih metalovirobiv [Ultrasonic separate-coupled electromagnetic-acoustic transducer for monitoring ferromagnetic metal products]. Patent na korysnu model No 116248, G01N29/04. Ziavl. 08.12.2016. Nadruk. 10.05.2017. Biul. No 9/2017. [in Ukrainian].
14. Suchkov, H.M. (2005). Rozvytok teorii i praktyky stvorennia pryladiv dla elektromagnitno-akustychnoho kontroliu metalovyrobiv [Development of theory and practice of the creation of devices for electromagnetic-acoustic control of metal particles]. *Extended abstract of doctor's thesis*. Kharkiv: NTU "KhPI", 42 p. [in Ukrainian].
15. Suchkov, H.M. (1988). Rozrobka i vprovadzhennia tekhnolohii bezperervnogo avtomatynoho vyavlennia defektiv makrostruktury ob'iemno-zmitsnennykh reioik bezkontaktnym ultrazvukovym metodom: avtoief [Development and promotion of technology for continuous automatic detection of defects in the macrostructure of volumetric slats using a non-contact ultrasonic method]. *Candidate's thesis*. Kharkiv: UkrDNDIMet, 24 p. [in Ukrainian].
16. Suchkov, H.M., & Donchenko, A.V. (2023). Udoskonalennia elektromagnitno-akustychnykh peretvoriuvachiv dla ultrazvukovoho kontroliu yakosti feromagnitnykh metalovyrobiv. [Upgrading of electromagnetic-acoustic converters for ultrasonic testing of ferromagnetic metal particles]. Tezy dopovidi mizhnarodnoi naukovoii internet-konferentsii «Informatsiine suspilstvo: tekhnolohichni, ekonomichni ta tekhnichni aspekty stanovlennia». [“Information partnership: technological, economical and technical aspects of development”]. (vyp. 74). 6–7 liutoho 2023 r., m. Ternopil–m. Perevorsk (Polshcha). Pp. 192–194.
17. Sait kanadskoi firmy Innerspec [elektronnyi resurs]. Retrieved from: <https://www.innerspec.com/portable/emat-sensors>. (Data zvernennia: 15.06.2022).
18. Suchkov, H.M., Katasonov, Yu.A., & Harkavyi, V.V. (2000). Mozhlyvosti bezkontaktnykh elektromagnitnykh metodiv neruinivnogo kontroliu yakosti trub. [Possibility of non-contact electromagnetic methods for non-invasive control of pipe quality]. *UkrNDIgaz. Vyp. KhKhVIII. Diahnostuvannia truboprovodiv, tekhnolohichnogo i enerhomekhanichnogo obladnannia naftovoii ta hazovoii promyslovosti*. UkrNDIHaz. P. 102–109. [in Ukrainian].
19. Suchkov, H.M., & Salam, Bussi. (2020). Elektromagnitno-akustychni peretvoriuvachi z impulsnymy dzherelamy poliaryzuiuchoho magnitnogo polia. [Electromagnetic-acoustic reversals with pulsed jets of a polarizing magnetic field]. *Tekhnichna diahnostryka i neruinivnyi kontrol*. No 1. P. 1–6. [in Ukrainian].
20. Troitskyi, V.O. (2023). Monitorynh stanu konstruksii (vvedennia v profesiui). [Monitoring the condition of structures (introduction to the profession)]. *Tekhnichna diahnostryka ta neruinivnyi kontrol*. No 3. P. 60. [in Ukrainian].
21. Tsapenko, V.K., & Kuts, Yu.V. (2010). Osnovy ultrazvukovoho neruinivnogo kontroliu: pidruchnyk. [Basics of ultrasonic non-invasive testing: handyman]. Kyiv: NTUU “KPI”. 448 p. [in Ukrainian].
22. Beaujard, L., Mondot, I., & Vinot, J. (1970). La metode Ralus de sondage ultrasonore automatique du champignon des rails. *Revue generale des fer*. No 1. P. 13. [in French]
23. Boughedda H., Hacib T., Chelabi M., Acikgoz H., Le Bihan Y. (2015). Electromagnetic Acoustic Transducer for Cracks Detection in Conductive Material. 4th International Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 1–4. DOI: 10.1109/INTEE.2015.7416717. IEEE Conference Publications [in English]
24. Sait kompanii International Rectifier [elektronnyi resurs]. Retrieved from: <https://datasheetspdf.com/pdf/643573/InternationalRectifier/IRLB3036PBF/1/>. (Data zvernennia: 19.09.2021) [in English]
25. Jianpeng, He, Steve Dixon, Samuel Hill, Ke Xu. (2017). A New Electromagnetic Acoustic Transducer Design for Generating and Receiving S0 Lamb Waves in Ferromagnetic Steel Plate. *Sensors*, iss. 17(5). Pp. 10–23. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/s17051023> [in English]
26. Matthias Sehera, Peter B. Nagy (2016). On the separation of Lorentz and magnetization forces in the transduction mechanism of Electromagnetic Acoustic Transducers (EMATs). *NDT & E International*. Vol. 84. Pp. 1–10 [in English]
27. Plesnetsov, S.Yu., Petrishchev, O.N., Mygushchenko, R.P., Suchkov, G.M., Sotnik, S.V., & Kropachek, O.Yu. (2018). Powerful Sources of Pulse High-frequency Electromechanical Transducers for Measurement, Testing and Diagnostics. *Електротехніка і Електромеханіка*. No2. P. 31–35 [in English]
28. Hirotsugu Ogi, Masahiko Hirao, & Toshihiro Ohtani. (1998). Line-focusing of ultrasonic SV wave by electromagnetic acoustic transducer. *The Journal of the Acoustical Society of America*. N 1. Volume 103. Issue 5. Pp. 2411–2415. doi.org/10.1121/1.422760 [in English]
29. Ohtsuka, Y., Yoshimura, T., & Ueda, Y. (2007). P2E-6 New Design of Electromagnetic Acoustic Transducer for Precise Determination of Defect. *IEEE Ultrasonics Symposium Proceedings*. Pp. 1609–1612. DOI: 10.1109/ULTSYM.2007.405 [in English]
30. Riichi Murayama, Kazuo Fujisawa, Hidekazu Fukuoka et Masahiko Hirao (1996). Development of an on-line Evaluation System of Formability in Cold-Rolled Steel Sheets Using Electromagnetic Acoustic Transducers (EMATs)", *NDT&E International*, Vol, 29, No. 3, pp. 141–146. doi.org/10.1016/0963-8695(94)00008-5 [in English]
31. Sait kompanii NORDINKRAFT [elektronnyi resurs]. Retrieved from: www.nordinkraft.de/. (Data zvernennia: 08.05.2020). [in English]
32. Salam Bussi, Suchkov, G., Mygushchenko, R., Kropachek, O., & Plesnetsov, S. (2019). Electromagnetic-acoustic Transducers for Ultrasonic Measurements, Testing and Diagnostics of Ferromagnetic Metal Products. *Ukrainian Metrological Journal*, No 4, pp. 41–49. Retrieved from: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.4.2019.195956> [in English]
33. Strizhak, V.A., & Pryakhin, A.V. (2023). Devices and Methods of *Measurements*. Vol.14. No 2. Pp. 81–95 [in English]
34. Suchkov, G.M., Bolyukh, V.F., Kocherga, A.I., Mygushchenko, R.P., & Kropachek, O.Yu. (2023). Increasing the Efficiency of the Surface-Mounted Ultrasonic Electromagnetic-Acoustic Transducer Due to the Magnetic Field Source. *Технічна електродинаміка*. No 2. P. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.15407/techne2023.02.003> [in English]
35. Suchkov, G.M., Taranenko, Yu.K., & Khomyak, Yu.V. (2016). A Non-Contact Multifunctional Ultrasonic Transducer for Measurements and Non-Destructive Testing. *Measurement Techniques*. No 12. Vol. 59, Iss. 9, Pp. 990–993. DOI:10.1007/s11018-016-1081-3 [in English]

УДК 531.7

Чалий О. В.

аспірант,

старший викладач кафедри КЕСТ

Заклад вищої освіти «Національний авіаційний університет»

Київ, Україна

E-mail: 7769225@stud.nau.edu.ua

ORCID: 0009-0003-5429-8869

ВИМІРЮВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОСТОРОВИХ ПОВЕРХОНЬ НА КООРДИНАТНО ВИМІРЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ

Анотація

Розглянуто фізично виміряні об'єкти та їхні наукові моделі, які характеризуються складними просторовими структурами. Передумовою стратегії є використання рівняння Лагранжа, для продуктивної оцінки складних деталей були проведені дослідження, з контрольованим обходом з урахуванням характеристик об'єктів зі складними просторовими поверхнями. Результат – мінімальна кількість точок, необхідна для якісної оцінки площі аналізу поверхні об'єкта. Це важливий крок у розробці точних і успішних стратегій оцінки просторових поверхневих станів зі складними та взаємопов'язаними властивостями. Ця структура не тільки дає змогу вивчати об'єкти фізичного вимірювання, але й покращує раціональне розміщення для вдосконалення КВМ у вимірюванні об'єктів зі складною просторовою формою. Це суттєво сприяє підвищенню точності та надійності оцінок у сучасних інноваційних формах і логічних дослідженнях, враховуючи такі важливі аспекти оцінки, як диференціація об'єктів і положення в просторі. Зокрема, об'єкти, що підлягають вимірюванню, можуть мати загальні або зустрічні поверхні, що ускладнює забезпечення точних геометричних параметрів. Це дослідження представляє сучасні концепції та стратегії для підвищення продуктивності вимірювання складних просторових поверхонь. Хоча ця стратегія забезпечує високу точність і також оптимізує час і ресурси, необхідні для завершення оцінки. Під стратегією розуміється стратегія вимірювання, яка дозволяє виміряти параметри з достатньою точністю та за короткий час. Найбільш оптимально вимірювати деталі методом сканування [2]. Вимірюючи деталі за допомогою цієї технології може скоротити час перевірки та підвищити точність вимірювань. Також розглянуто проблему визначення критеріїв для мінімізації помилок вимірювання та оцінки надійності результатів, що забезпечує не тільки високу точність, але й достовірність отриманих даних, що дуже важливо в процесах вимірювання, де результати можуть впливати на подальші технічні або наукові рішення. Загалом, підхід суттєво сприяє розвитку сучасних методів координатного вимірювання та їх застосуванню за високих вимог до точності та складних просторових умов.

Ключові слова: координатно вимірювальна машина, сканування, контрольні точки.

Вступ. Розвиток виробництва в галузі машинобудування, авіації, ракетно-космічної промисловості, енергетики, суднобудування та автомобілебудування висуває підвищені вимоги до забезпечення безпеки та надійності роботи обладнання. Оскільки існує залежність між характеристиками ефективності деталі та її формою, прогнозування та контроль показників ефективності деталей і машин вимагає вимірювання характеристик (параметрів) їх форми. Багато сучасних машин і механізмів різних галузей промисловості містять великогабаритні деталі. Сучасні вимоги до точності виготовлення таких деталей породили необхідність зменшення допусків на високоточні деталі великих розмірів.

У сучасному індустріальному та науковому середовищі вимірювання складних просторових поверхонь стає важливим завданням з високим ступенем відповідальності за точність та надійність результатів. Зростання складності геометричних форм об'єктів, їх взаємодія та технологічні вимоги вимагають розвитку нових методів інструментального контролю. Найважливішу роль у забезпеченні якості та конкурентоспроможності авіапромислової продукції відіграє контроль-вимірювальна техніка, в якій особливе місце займають засоби вимірювання та контролю геометричних параметрів деталей, вузлів машин і механізмів Координатно-вимірювальні машини (КВМ) забезпечують визначення координат всіх точок поверхонь деталей в просторі вимірювання та дозволяють визначити метрологічні параметри відхилення від форми та розташування поверхонь деталей особливо складної конфігурації за допомогою системи керування КВМ. КВМ використовується для вимірювання розмірів і форми виробів з високою точністю [7]. Від суміщення параметрів математичної моделі і об'єкту вимірювання на пряму залежить точність вимірювання. Робота присвячена вивченню та вдосконаленню методології вимірювання складних просторових поверхонь з використанням координатно-вимірювальних машин. Досліджуючи фізичні об'єкти вимірювання, які характеризуються складністю геометричних форм, було розроблено підхід, заснований на математичних моделях та алгоритмах, що спрямовані на оптимізацію точності та швидкості вимірювань.

Метою роботи. Розробка методики для вимірювання складних просторових поверхонь за допомогою КВМ. Важливі аспекти включають визначення ідеального наукового підходу для аналізу складної форми вимірюваних процесів, створення обчислень, які поєднують точність оцінки та навички, а також мінімізацію помилок

оцінки. Сюди входять такі подальші розробки, як: точки дослідження для досягнення конкретних цілей, зокрема: подальший розвиток числових моделей, визначення числового підходу для точного представлення контексту оцінки шляхом розміщення вимірювальних точок, розробка розрахунків для успішної оцінки об'єктів складної форми з урахуванням відхилень просторової поверхні. Попередньо визначені варіанти та критерії мінімізації помилок для забезпечення високої точності досягнутих результатів. При вимірюваннях положення осей об'єкту оцінка точності базування повинна формуватися як на основі вимірювання баз, так і з урахуванням необхідної та достатньої кількості точок контрольованої поверхні. Поряд з рішенням задачі базування поверхонь повинна бути також вирішена проблема базування контрольних обходів (перетинів і характерних ліній на поверхні) при різних використовуваних способах подання інформації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Необхідність розв'язання задач управління КВМ в реальному часі висуває певні вимоги як до самих алгоритмів управління та програмно-математичного забезпечення системи, так і до технічних засобів, що їх реалізують [2]. При вимірюванні положення осі об'єкта (фізичної моделі та її елементів) після його розміщення на поворотній платформі зазвичай не збігається з віссю КВМ. Ця різниця визначає основну похибку. Фундаментальні похибки повинні бути усунені до того, як результати вимірювань будуть об'єднані з вихідною математичною моделлю об'єкта. Тому оцінка базової точності повинна ґрунтуватися як на базових вимірюваннях, так і на вимірюваннях, які враховують кількість необхідних і достатніх точок контрольованої поверхні. На додаток до вирішення проблем на основі регіону, проблеми на основі позиції шляхів керування (перетину на області та характеристичних кривих) також необхідно розв'язувати для різних методів подання інформації, що використовуються [3]. Розміщення об'єктів необхідно оцінювати на основі математичної моделі, яка описує фактичну форму отриманої поверхні. математичної та вимірюваної фізичної моделі. Початок власних систем координат моделі O та O^1 зміщується до вектора P . Крім того, повернуто систему $(XYZO)^1$ на кути, α, β, γ відносно осей OX, OY, OZ системи $(XYZO)$. На математичній моделі встановлюються контрольні точки. Вимірюються відповідні точки на фізичній моделі. Кількість точок N і їх розташування залежать від конкретної геометрії моделі і визначаються точністю вимірювань. Необхідно знайти перетворення R , яке перетворює систему $(XYZO)^1$ в систему $(XYZO)$ так, щоб сума квадратів відстаней від перетворених вимірюваних точок $c^1 = R(b)$ до відповідних їм точок математичної моделі була мінімальною [1]:

$$\sum_{i=1}^N [(a_x^i - c_x^i)^2 + (a_y^i - c_y^i)^2 + (a_z^i - c_z^i)^2] \Rightarrow \min. \quad (1)$$

Для вимірюваної точки b_i в координатній формі перетворення має вигляд:

$$C = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_x + b_x - b_y\gamma + b_z\beta \\ P_y + b_x\gamma + b_y + b_z\alpha \\ P_z - b_x\beta + b_y\alpha + b_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

Для суми квадратів відстаней підставивши значення c_x, c_y і c_z у виразі (1), отримаємо вигляд для функції Лагранжа:

$$J = \sum_{i=1}^N (a_x^i - b_x^i - P_x + b_y\gamma - a_z^i\beta)^2 + \sum_{i=1}^N (a_y^i - b_y^i - P_y + b_z^i\alpha - b_z^i\gamma)^2 + \sum_{i=1}^N (a_z^i - b_z^i - P_z + b_y^i\alpha + b_x^i\beta)^2. \quad (3)$$

Прирівняємо розрахунки для частинних похідних до нуля і прирівняємо подібні члени, отримаємо систему лінійних рівнянь:

$$[D] \times [P_x \ P_y \ P_z \ \alpha \ \beta \ \gamma]^T = [H], \quad (4)$$

де $[D]$ – матриця розміром 6×6 , $[H]$ – стовпець вільних членів, T транспонування:

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{61} & \dots & d_{66} \end{bmatrix}; \quad [H] = \begin{bmatrix} h_1 \\ \vdots \\ h_6 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Складові стовпця $[H]$ і матриці $[D]$ визначаються:

$$\begin{aligned} d_{11} &= -N; d_{12} = 0; d_{13} = 0; d_{14} = 0; d_{15} = -S_z; d_{16} = S_y; \\ d_{21} &= 0; d_{22} = -N; d_{23} = 0; d_{24} = S_z; d_{25} = 0; d_{26} = -S_x; \\ d_{31} &= 0; d_{32} = 0; d_{33} = -N; d_{34} = -S_y; d_{35} = S_x; d_{36} = 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_{41} &= 0; d_{42} = -S_z; d_{43} = S_y; d_{44} = S_y^2 + S_z^2; d_{45} = -S_{xy}; d_{46} = -S_{xz}; \\
d_{51} &= S_z; d_{52} = 0; d_{53} = -S_x; d_{54} = -S_{xy}; d_{55} = S_x^2 + S_z^2; d_{56} = -S_{yz}; \\
d_{61} &= -S_y; d_{62} = S_x; d_{63} = 0; d_{64} = -S_{xz}; d_{65} = -S_{yz}; d_{66} = S_x^2 + S_y^2; \\
h_1 &= -\sum_{i=1}^N (a_x^i - b_x^i); \quad h_2 = -\sum_{i=1}^N (a_y^i - b_y^i); \\
h_3 &= -\sum_{i=1}^N (a_z^i - b_z^i); \quad h_4 = -\sum_{i=1}^N (a_y^i b_z^i - a_z^i b_y^i); \\
h_5 &= -\sum_{i=1}^N (a_z^i b_x^i - a_x^i b_z^i); \quad h_6 = -\sum_{i=1}^N (a_x^i b_y^i - a_y^i b_x^i).
\end{aligned} \tag{6}$$

Розв'язавши (4), визначимо потрібні значення $P_x P_y P_z \alpha \beta \gamma$, які визначають перетворення. Отримані результати лінійних і кутових зсувів $P_x P_y P_z \alpha \beta \gamma$ містять вихідні результати для КВМ з метою поправки системи координат фізичної моделі. Після базування фізичної моделі на ній проводиться ряд кільцевих вимірів, що відповідають контрольним обводам (перетинам) математичної моделі [4]. На рис. 1 приведені сполучення контрольних обводів вимірюваного об'єкта і математичної моделі.

Кількість точок у перетині M залежить від конкретної геометрії перетину. Кожен вимірний перетин необхідно порівняти з відповідним йому перетином математичної моделі. Для цього його потрібно повернути на кут α , і зсунути на вектор P в площині перетину [4, 5].

Потрібно знайти точки c^i , що лежать на обмірюваному перетині і відповідають точкам a^i перетину математичної моделі. Спочатку знаходяться точки $c^{i(0)}$, що лежать на багатокутнику, що з'єднує вимірні точки b^i так, що відстань від точк a^i до точки $c^{i(0)}$ мінімально. Послідовно розраховуються розміри від точки a^i до кожного з відрізків $[b^j, b^{j+1}]$, $j = 1, \dots, M = 1$. Точка d , яка відповідає мінімальній відстані, розраховується з умови перпендикулярності відрізка $(a^i - d)$ вектора, що проходить через точки b^i і b^{i+1} .

Лінія, що проходить через точки b^i і b^{i+1} визначається:

$$d(t) = b^i + (b^{i+1} - b^i)t, \quad t \in [-\infty, \infty]. \tag{7}$$

Умова перпендикулярності

$$(b^{i+1} - b^i) (a^i - d(t^*)) \tag{8}$$

Після чого визначається значення параметра t^*

$$t^* = \frac{(b_x^{j+1} - b_x^j)(a_x^i - b_x^j) + (b_y^{j+1} - b_y^j)(a_y^i - b_y^j)}{(b_x^{j+1} - b_x^j)^2 + (b_y^{j+1} - b_y^j)^2}. \tag{9}$$

Розрахована в такий спосіб точка $d(t^*)$ d t може знаходитись за межами відрізка $[b^i, b^{i+1}]$ тому d , що відповідає мінімальній відстані, розраховується:

$$d = \begin{cases} b^j, & t \leq 0; \\ d(t^*), & 0 \leq t \leq 1 \\ b^{j+1}, & t \geq 1. \end{cases} \tag{10}$$

Визначивши відстань від точки a до кожного з відрізків $[b^i, b^{i+1}]$ вибираємо той відрізок, розмір якого мінімальний. Точка d , визначена на цьому відрізку, і буде потрібною точкою $c^{i(0)}$. Далі визначається уточнена точка c^i . Для цього декілька точок обмірюваного перетину b^k , $k = j-L, \dots, j+L$, що розташований в межах знайденої точки $c^{i(0)}$, апроксимуються. Так само визначається точка c^i , що відповідає точці a^i . В результаті, маємо N точок a^i контрольного перетину математ моделі і сумісні їм N точок c^i обмірюваного перетину. Необхідно розрахувати вектор P , на який треба зсунути точки, і кут α , на який їх необхідно повернути до повного збігу. Мінімізуємо функція Лагранжа:

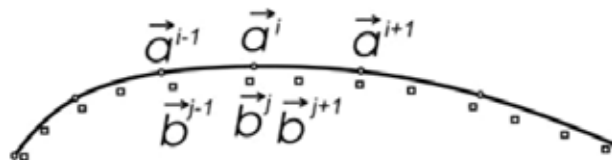


Рис. 1. Суміщення контрольних обводів вимірюваної складної просторової поверхні і математичної моделі

$$j = \sum_{i=1}^N (a_x^i - c_x^i)^2 + (a_y^i - c_y^i)^2, \quad (11)$$

c^i – зсунута на вектор P і повернута на кут α точка c^i

$$c^i = \begin{bmatrix} c_x^i \\ c_y^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_x^i + P_x - c_y^i \alpha \\ c_y^i + P_y + c_x^i \alpha \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Умовами мінімуму функції Лагранжа є

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial P_x} &= -2 \left[-P_x N + \alpha \sum_{i=1}^N c_y^i + \sum_{i=1}^N (a_x^i - c_x^i) \right] = 0; \\ \frac{\partial J}{\partial P_y} &= -2 \left[-P_y N + \alpha \sum_{i=1}^N c_x^i + \sum_{i=1}^N (a_y^i - c_y^i) \right] = 0; \\ \frac{\partial J}{\partial \alpha} &= 2 \left[-P_x \sum_{i=1}^N c_y^i + P_y \sum_{i=1}^N c_x^i + \alpha \sum_{i=1}^N ((c_x^i)^2 + (c_y^i)^2) + \sum_{i=1}^N (a_x^i c_y^i - a_y^i c_x^i) \right] = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Вирішив систему з трьох лінійних рівнянь (13), отримаємо значення P_x, P_y і α :

$$\begin{aligned} P_x &= \frac{h_1 + d_{13}\alpha}{N}; \quad P_y = \frac{h_2 + d_{32}\alpha}{N} \\ \alpha &= \frac{Nh_3 + h_1 d_{13} - h_2 d_{32}}{Nd_{33} - (d_{13})^2 - (d_{32})^2} \end{aligned} \quad (14)$$

де

$$\begin{aligned} d_{13} \sum_{i=1}^N c_y^i; \quad d_{32} \sum_{i=1}^N c_x^i; \quad d_{33} \sum_{i=1}^N ((c_x^i)^2 + (c_y^i)^2); \\ h_1 = \sum_{i=1}^N (a_x^i - c_x^i); \quad h_2 = \sum_{i=1}^N (a_y^i - c_y^i); \quad h_3 = \sum_{i=1}^N (a_x^i c_y^i - a_y^i c_x^i). \end{aligned} \quad (15)$$

Розрахнок довжини кроку залежить від використаної схеми інтерполяції та від поверхні об'єкту [2, 7]. При використанні лінійної інтерполяції, взагалі встановлюють допуск на максимальне відхилення δ дійсної кривої від хорди по нормалі, що з'єднують дві послідовні точки вимірювання [6].

Використовується апроксимація кривої її спряженої сфери, так що кривизну перетину в даному місці можна використати для отримання розміру кроку:

$$L^2 = 4\delta(2p - \delta), \quad (16)$$

Де L – довжина кроку, δ – відхилення, p – радіус кривизни.

Для практичного розв'язання задач вимірювання необхідно: дослідити взаємовплив на точність вимірювання форми головки датчика, а також кривизни і напрямку нормалі поверхні об'єкту; розробити методику нанесення координат точок вимірювання; провести оцінку точності проведених вимірювань.

Визначимо похибку точки дотику однозначної поверхні об'єкту сферичною або циліндричною головкою датчика. Якщо поверхня вигинається достатньо гладко, тобто в границях радіуса вимірювального наконечника, то поверхню можна задати дотичною площиною. Тоді похибка визначення точки дотику може бути визначена з наступної системи рівнянь [5]

де R – радіус наконечника, α – кут між вектором швидкості та горизонтальною віссю

$$\Delta_{\text{сф}} = R \cdot \frac{1 - \sin \alpha}{\sin \alpha}, \quad (17)$$

На рис. 2. показана точка дотику однозначної гладкої поверхні із сферою вимірювального наконечника радіуса R

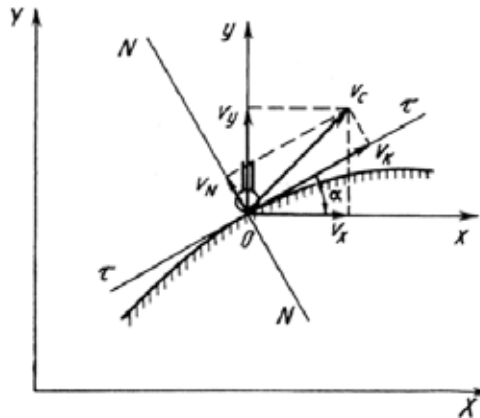


Рис. 2. Геометрія дотику сфери вимірювального наконечника та поверхні

Сумарна похибка вимірювань датчика буде складатися з трьох похибок [4]:

$$D_e = D_n + D_k + D_z \quad (18)$$

де $D_n = \delta \cdot \max\left(\frac{\partial z}{\partial n}\right)$ – похибка позиціонування, D_k – похибка датчика, D_z – похибка взаємного впливу форми поверхні та датчика.

Ці залежності дозволяють отримати для деякого класу поверхонь оцінку похибки визначення координат поверхні об'єкту при використанні трикоординатного датчика.

Мінімальна кількість точок для відновлення аналітичного еталону поверхні у сплайновій геометрії буде [7, 8].

де n_s – кількість параметрів, що описують аналітичну частину, 1

n_i – кількість частин поверхні. Для більш точного відтворення аналітичного еталону поверхні з міркувань, що N точок необхідно для відновлення значень z , $N - 3$ для z' , та $N - 3$ для z'' , беруть $N - 3 N_{min}$. Якщо ці точки рівномірно розподілені по поверхні, то можна стверджувати, що вони утворюють множину відновлюваної поверхні.

Висновки. У роботі удосконалено математичну модель процесу вимірювання механічних величин, яка враховує вплив факторів нестабільності та дозволяє визначати положення рухомого ланцюга системи під час експлуатації сис вимірювання. Було отримано кількість контрольних точок перетину в математичній моделі та відповідну кількість вимірюваних точок перетину та вектор P , на який потрібно перемістити точку, і кут α , на який її потрібно повернути для ідеального суміщення. Проведено вимірювальний аналіз на основі технічних вимог до деталей зі складною формою, який служить джерелом інформації про якість авіаційних деталей і забезпечує своєчасне виявлення деталей, що відхиляються від зазначеної в конструкторській документації що дозволяє завчасно усунути виробничі порушення встановлених стандартів якості та точності.

Список використаних джерел

1. Дуднік А. С. Комп'ютеризовані системи вимірювання механічних величин : монографія / А. С. Дуднік, В. П. Квасніков. Київ : Інтерсервіс, 2018. 175 с.
2. Єжель М. О. Дослідження методів контролю геометричних характеристик об'єктів складної форми / М. О. Єжель, Н. А. Зубрецька. Мехатронні системи: інновації та інжиніринг : тези доповідей II-ої Міжнар. наук.-практ. конф. (15 червня 2018 р., м. Київ) / відп. за вип. М. А. Зенкін. Київ : КНУТД, 2018. С. 124–125.
3. Орнатський Д. П. Методи та засоби підвищення метрологічних характеристик дистанційних вимірювань механічних величин : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.11.01. Одес. держ. акад. техн. регулювання та якості. Одеса, 2015. 40 с.
4. Квасніков В. П. Розробка координатного методу вимірювання параметрів зубчастого колеса / В. П. Квасніков, О. В. Діхтєвський. *Вісник інженерної академії України*. 2019. № 2.
5. Квасніков В. П. Підвищення динамічної точності систем автоматичного регулювання координатних вимірювальних машин / Квасніков В. П., Осмоловський О. І. Системи та засоби передачі і обробки інформації: IX Міжнародна науково-практична конференція. Черкаси, 5–10 вересня 2005 р. Черкаси: ЧДТУ, 2005. С. 155–157.
6. Квасніков В. П. Метод контролю лінійно-кутових параметрів деталей складної геометричної форми / В. П. Квасніков, М. О. Катаєва, П. Л. Ігнатенко. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: VI міжнар. наук.-практ. конф., 26–29 квітня 2016 р.: матеріали доп. Чернівці: ЧНТУ, 2016. С. 310–311.
7. Чалий О. В. Дослідження можливостей координатно-вимірювальних машин, та характеристик датчиків, Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ПРТК-2023). Шістнадцята міжнародна науково-практична конференція 23–24 травня 2023 р., Київ, Україна. К.: НАУ, 2023. 402 с.
8. Bosch J. A. Coordinate Measuring Machines and Systems (Boca Raton, FL: CRC Press). 1995. pp. 24 p. 496.
9. Sladek J. A. Coordinate Metrology: Accuracy of Systems and Measurements. 2016. (Berlin: Springer)
10. Sztendel M., Papananias C. Pislaru, "Improving the dynamic performance of five-axis CNC machine tool by using the software-in-the-loop (SIL) platform," in Laser Metrology and Machine Performance XI, LAM DAMAP, Huddersfield, UK, 2015, pp. 170–180.

Chalyi O. V.

Postgraduate Student

Assistant Professor at the Department of Computerized Electrical Engineering Systems and Technologies
Higher Educational Institution "National Aviation University"

Kyiv, Ukraine

E-mail: 7769225@stud.nau.edu.ua

ORCID: 0009-0003-5429-8869

MEASUREMENT OF COMPLEX SPATIAL SURFACES ON A CO-ORDINATE MEASURING MACHINE

Abstract

In this section, a study of physically measured objects and their mathematical models, characterized by complex spatial structures, is carried out. The basis of the new method is to use the formulas of the Lagrange function located in a certain mathematical space. An algorithm was created that includes a mathematical model with controlled bypass for efficient measurement of complex parts. This algorithm was created taking into account the characteristics of objects with complex spatial surfaces. The result is to obtain the minimum number of points necessary for high-quality measurement of the analyzed region of the object's surface. This is an important step in developing accurate and effective measurement methods in spatial surface conditions with complex and interrelated properties. The system not only allows the analysis of physical measurement objects, but also the development of practical solutions to improve KMM when measuring objects with complex spatial geometries. This helps increase the accuracy and reliability of measurements in modern technological processes and scientific research, while taking into account important measurement aspects such as different objects and interactions them in space. In particular, cases are considered when measuring objects have common or intersecting surfaces, which complicates the accurate determination of geometric parameters. The study presents new concepts and methods to improve the efficiency of measuring complex spatial surfaces. This method not only ensures accuracy but also optimizes the measurement time and resources required to perform the measurement. We also consider the problem of determining criteria to minimize measurement errors and evaluate the reliability of results, which ensures not only high accuracy, but also reliability of the data obtained, which This is important in the measurement process, where the results can influence other factors. technical or scientific decisions. Overall, this method significantly contributes to the development of modern coordinate measurement methods and their application in complex spatial conditions and high accuracy requirements.

Key words: coordinate measuring machine, scanning, control points.

References

1. Dudnik, A.S., & Kvasnikov, V.P. (2018). *Kompiuteryzovani systemy vymiriuvannia mekhanichnykh velychyn [Computerized Measurement Systems: Monograph.]* Kyiv: Interservice [in Ukrainian]
2. Yezhel, M.O., & Zubretska, N.A. (2018). *Doslidzhennia metodiv kontroliu heometrychnykh kharakterystyk ob'ektivskladnoi formy [Investigation of methods for controlling geometric characteristics of objects of complex shape]. Innovations and Engineering: Proceedings of the 2nd International Scientific-Practical Conference.* Kyiv National University of Technologies and Design, [in Ukrainian].
3. Ornatskyi, D.P. (2015). *Metody ta zasoby pidvyshchennia metrolohichnykh kharakterystyk dystantsiinykh vymy-riuvan mekhanichnykh velychyn [Methods and means to improve the metrological characteristics of remote measurements of mechanical quantities]. Extended abstract of doctor's thesis.* Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality [in Ukrainian].
4. Kvasnikov, V.P. (2019). *Rozrobka koordynatnoho metodu vymiriuvannia parametriv zubchastoho koleasa [Development of a coordinate method for measuring gear wheel parameters]. Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine, 2 [in Ukrainian].*
5. Kvasnikov, V.P., & Osmolovskyi, O.I. (2005). *Pidvyshchennia dynamichnoi tochnosti system avtomatychnoho ehuliuвання koordynatnykh vymiriuvannykh mashyn [Increasing the dynamic accuracy of automatic control systems for coordinate measuring machines]. In: Systems and Means of Information Transmission and Processing: IX International Scientific-Practical Conference Cherkasy State Technological University [in Ukrainian].*
6. Kvasnikov, V.P., Kataeva, M.O., & Ignatenko, P.L. (2016). *Metod kontroliu liniino-kutovykh parametriv detalei skladnoi heometrychnoi formy [Method for controlling linear-angular parameters of parts with complex geometric shapes]. In: Comprehensive Quality Assurance of Technological Processes and Systems: VI International Scientific-Practical Conference.* Chernihiv National University of Technology [in Ukrainian].
7. Chalyi, O.V. (2023). *Doslidzhennia mozhlyvosti koordynatno-vymiriuvannykh mashyn, ta kharakterystyk datchykyv [Research on the possibilities of coordinate measuring machines and characteristics of sensors]. In: XVI International Scientific-Practical Conference "Integrated Intelligent Robotic-Technical Complexes". IIRTC-2023 [in Ukrainian].*
8. Bosch, J.A. (1995). *Coordinate Measuring Machines and Systems* (Boca Raton, FL: CRC Press) pp. 24 p. 496 [in English].
9. Sladek, J.A. (2016). *Coordinate Metrology: Accuracy of Systems and Measurements* (Berlin: Springer) [in English].
10. Sztendel, M. Papananias, & C. Pislaru, (2015). "Improving the dynamic performance of five-axis CNC machine tool by using the software-in-the-loop (SIL) platform," in *Laser Metrology and Machine Performance XI, LAMDAMAP, Huddersfield, UK*, pp. 170–180 [in English].



МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 336.7

Кравченко В. П.

кандидат економічних наук,
доцент кафедри фінансів, банківської справи та страхування
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кропивницький, Україна
E-mail: kravchen64@ukr.net
ORCID: 0000-0003-4343-6296

ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ НА РИНКУ ОБЛІГАЦІЙ ВНУТРІШНЬОЇ ДЕРЖАВНОЇ ПОЗИКИ

Анотація

Функціонування розвинутого ринку внутрішніх державних цінних паперів має надзвичайно важливе значення для ефективного залучення ресурсів у процесі фінансування бюджетних потреб та належного функціонування інвестиційного ринку країни. В роботі проаналізовано динаміку доходності облігацій внутрішньої державної позики та залучених коштів до державного бюджету від розміщення їх на фондовому ринку та темп інфляції в Україні. З'ясовано, що на сьогоднішній день ОВДП є найбільш прибутковим інструментом заощаджень. Держава отримала високі прибутки від розміщення облігацій внутрішньої державної позики. Прискорена інфляція вплинула на зростання доходності ОВДП. Облігації внутрішньої державної позики є інструментом фіскальної політики, оскільки їх основне призначення забезпечити джерело рефінансування державного боргу. Досліджено вплив зв'язку між доходністю держоблігацій та обліковою ставкою НБУ в Україні. Облігації внутрішньої державної позики мають цільний зв'язок з обліковою ставкою НБУ, яка визначає доходність цих цінних паперів. Розглянуто питання прогнозування доходності облігацій внутрішньої державної позики, інфляції та залучених коштів до державного бюджету від розміщення їх на фондовому ринку. Прогнозні дані доходності ОВДП залишаються достатньо високими у випадку незмінних умов стану країни, що може забезпечити зростаючий попит на фондовому ринку та скласти конкуренцію депозитним вкладом. Отриманий прогноз дає надію, про відновлення економічної активності. Ризики посилення інфляційного тиску зберігаються передусім з огляду на високі безпекові ризики, що негативно можуть вплинути на очікування. Факторний аналіз ринку ОВДП є принципово важливим і необхідним при розробці ефективної економічної політики та заходів щодо підтримки стабільної ситуації в умовах воєнного стану в Україні.

Ключові слова: облігації, доходність, інфляція, бюджет, прогнозування.

Вступ. Функціонування розвинутого вітчизняного ринку внутрішніх державних цінних паперів має важливе значення для ефективного залучення ресурсів у процесі фінансування бюджетних потреб та належного розвитку інвестиційного ринку країни. В даний час державні цінні папери розглядаються як основний інструмент для отримання фінансових ресурсів через державні запозичення, які підтримують економіку країни. Особливістю фондового ринку є те, що він виступає як ринок ризикових капіталів, де збільшення і падіння курсів цінних паперів залежить від багатьох факторів, таких як процентна ставка, інфляція, очікування й настрої власників облігацій, переважання попиту або пропозиції та багатьох інших, що варто завжди враховувати у практичній діяльності. Факторний аналіз на ринку ОВДП є принципово важливими та необхідним в розробці ефективної економічної політики та заходів для утримання стабільної ситуації в умовах воєнного стану в Україні.

Мета роботи. Визначити умови, що впливають на діяльність сучасного фондового ринку в Україні та розглянути можливі прогнози, щодо доходності, інфляції та коштів залучених до бюджету від продажу ОВДП.

Виклад основного матеріалу дослідження. Загальний обсяг випусків емісійних цінних паперів, зареєстрованих Національною комісією з цінних паперів та фондового ринку протягом січня-жовтня 2023 року

становив 56,3 млрд. грн. та 8 млн. дол. Порівняно з відповідним періодом 2022 року (19,3 млрд. грн.) загальний обсяг випусків емісійних цінних паперів, номінованих у гривні, за відповідний період 2023 року збільшився на 37,0 млрд. грн. [7].

Протягом січня-жовтня 2023 року відбулася консолідація торгівлі цінними паперами у двох операторів організованих ринків капіталу «ПЕРСПЕКТИВА» та «ПФТС», на частку яких припадало майже 97,0% обсягу торгів фінансовими інструментами (табл. 1).

Дані таблиці показують, що найбільший обсяг торгів фінансовими інструментами в операторів організованих ринків капіталу за вказаний період було зафіксовано з ОВДП – 321,6 млрд. грн., що становить 92,6% від загального обсягу торгів фінансовими інструментами в операторів ринків капіталу організованих ринків капіталу протягом січня-жовтня 2023 року.

Наступним важливим етапом є аналіз залучених коштів від облігацій державної позики до державного бюджету. За даними Міністерства фінансів у 2020 році ним було залучено до державного бюджету 258 828,72 млн. грн. за рахунок розміщення облігацій внутрішньої державної позики на первинному ринку, у 2021 році дорівнювало 287 896 млн. грн. Станом на 01.10.2023 року від операцій з ОВДП було залучено до бюджету 368 765,1 млн. грн., що на 204 380,6 млн. грн. більше у порівнянні з 2022 роком (рис. 1) [2].

На сьогоднішній день ОВДП є найбільш прибутковим інструментом заощаджень, збереження яких гарантує держава. На відміну від депозитів, дохідність ОВДП поки що у багатьох випадках перевищує інфляцію. ОВДП є найменш ризикованим інструментом для інвестицій в Україні. Хоча і у випадку ОВДП є певні ризики. Головний з них – девальвація національної валюти, крім того, у випадку великих потрясінь, таких, як сьогоднішня війна чи фінансово-економічна криза, держава може оголосити про дефолт – тобто неспроможність виконувати свої боргові зобов'язання.

Таблиця 1. Обсяг торгів фінансовими інструментами на операторах організованих ринків капіталу протягом січня-жовтня 2023 року, млн. грн.

	Акція	Акція іноземного емітента	Акція КІФ	Корпоративна облігація	ОВДП України	ОЗДП України	Облігація зовнішніх державних позик України	Інвестиційний сертифікат	Облігація підприємства	Облігація іноземного емітента	Загальний підсумок
ПФТС	4,7	0,1	0,0	6145,2	207480,8	57,5	2748,4	0,0	0,0	0,0	216436,7
ПЕРСПЕКТИВА	0,0	0,0	0,0	0,0	104458,0	0,0	15472,5	0,0	95,8	44,6	120070,9
УБ	74,4	6,4	0,1	70,3	9701,8	61,1	1007,8	7,2	2,4	76,6	11007,9
Усього	79,1	6,5	0,1	6215,5	321640,6	118,5	19228,7	7,2	98,2	121,1	347515,5

Джерело: [7]

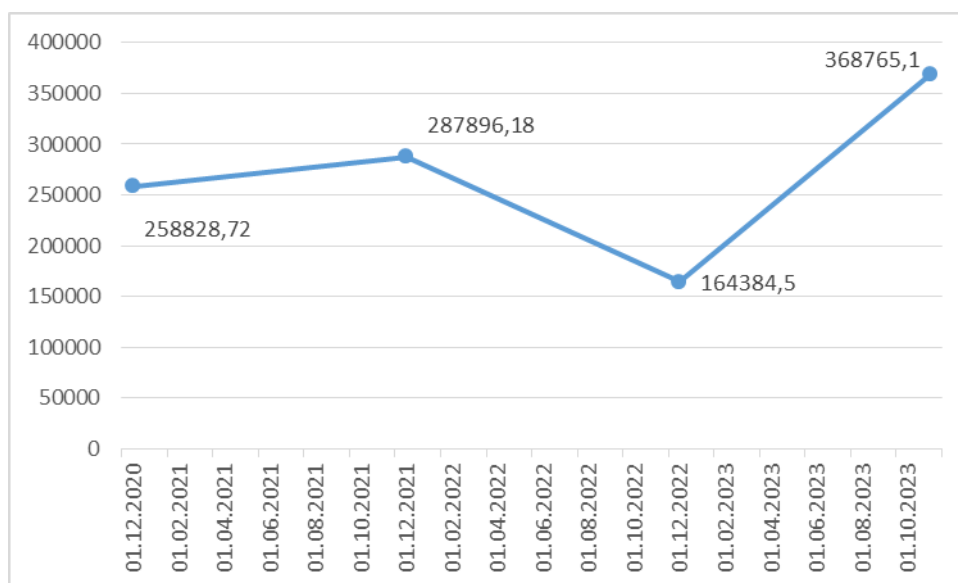


Рис. 1. Динаміка залучених коштів від ОВДП до державного бюджету

Джерело: побудовано автором згідно даних [2]

Також, зростання ставок за ОВДП несе ризики для держави, адже обслуговувати цей борг потрібно уряду. За період війни вартість внутрішнього боргу зросла. Так на кінець 2022 року державний та гарантований державою внутрішній борг склав 1 461,89 млрд. грн. або 35,89% від зовнішнього боргу, а станом на 31 жовтня 2023 року склав 1584,59 млрд. грн. або 31,96%, що на 122,7 млрд. грн. більше [3].

В умовах воєнного стану в країні виникає необхідність пошуку альтернативних шляхів залучення фінансових ресурсів, які, в свою чергу, сприятимуть наповненню державного бюджету. Одним із основних факторів, що впливає на дохідність ринку державних облігацій, є рівень дефіциту державного бюджету. Це пов'язано з тим, що зі зростанням дефіциту державного бюджету зростає і процентна ставка за облігаціями. Також слід зазначити, що облікова ставка Національного банку України є ще одним фактором, який впливає на дохідність державних облігацій. Зменшення облікової ставки призводить до зниження прибутковості облігації [1].

Для оцінки впливу облікової ставки НБУ та середньозваженої доходності випущених ОВДП на первинному ринку за період 2019–2023 рр. запропонована динаміка на рис. 2 [10].

На рисунку 2 спостерігається зв'язок між доходністю держоблігацій та обліковою ставкою НБУ в Україні за 2019–2023 рр., тобто облікова ставка слугує орієнтиром для визначення рівня доходності ОВДП. Хоча облікова ставка НБУ станом на 27.10.2023 року складала 16,0%, це був орієнтир для суб'єктів грошово-кредитного ринку, щодо вартості залучених та розміщених грошових ресурсів, а доходність облігацій ОВДП дорівнювала 18,5%, тобто на 2,5% вище за ставку рефінансування.

Це пов'язано з тим, що зі зростанням дефіциту державного бюджету, уряд щоб залучати інвесторів до купівлі ОВДП запропонував вищу ставку, тому процентна ставка за облігаціями зросла і мала відмінність від облікової ставки. Мінфін підвищив ставки за військовими ОВДП до 18,5%, це дозволило міністерству суттєво збільшити залучення до держбюджету за рахунок гривневих облігацій [9].

Вища інфляція, як правило, розглядається як негативний фактор для цінних паперів, оскільки вона збільшує вартість запозичень, ресурсів і знижує рівень життя, а також зменшує очікування щодо зростання доходів, чинячи тиск на зниження цін на цінні папери. Звичайно, фондовий ринок щороку передбачає певний рівень інфляції та коригує очікувану прибутковість відповідно до очікуваної інфляції.

За даними НБУ прогноз інфляції на кінець 2023 року зменшиться з 10,6% до 5,8%. Водночас НБУ підвищив прогноз інфляції на 2024 рік – з 8,5% до 9,8%. Надалі прогнозується сповільнення інфляції до 6% у 2025 році [8]. Цьому передусім сприятиме очікуване зниження безпекових ризиків. Динаміка індексу інфляції в Україні за період 2018–01.09.2023 рр. показана на рисунку 3.

На рисунку 3 індекс інфляції відображає економічну ситуацію в країні. Найбільша інфляція спостерігалася у грудні 2022 році, а за рік у цілому ціни зросли на 26,6%. Для сповільнення інфляції на 2023 р. Національний банк України збільшив облікову ставку до 25,0%. При сповільненні інфляції, регулятор може знизити облікову ставку при відсутності інших факторів, при цьому ставки за ОВДП також знизяться [6, 8].

Прогнози, щодо доходності, інфляції та коштів залучених до бюджету від первинного розміщення ОВДП на періоди 01.01.2022–01.11.2023 рр. здійснено за допомогою трендових моделей. До моделей прогнозування були включені фактори: інфляція, доходність та залучені кошти від розміщення ОВДП до державного бюджету які мають вплив на стійкість фондового ринку в Україні.

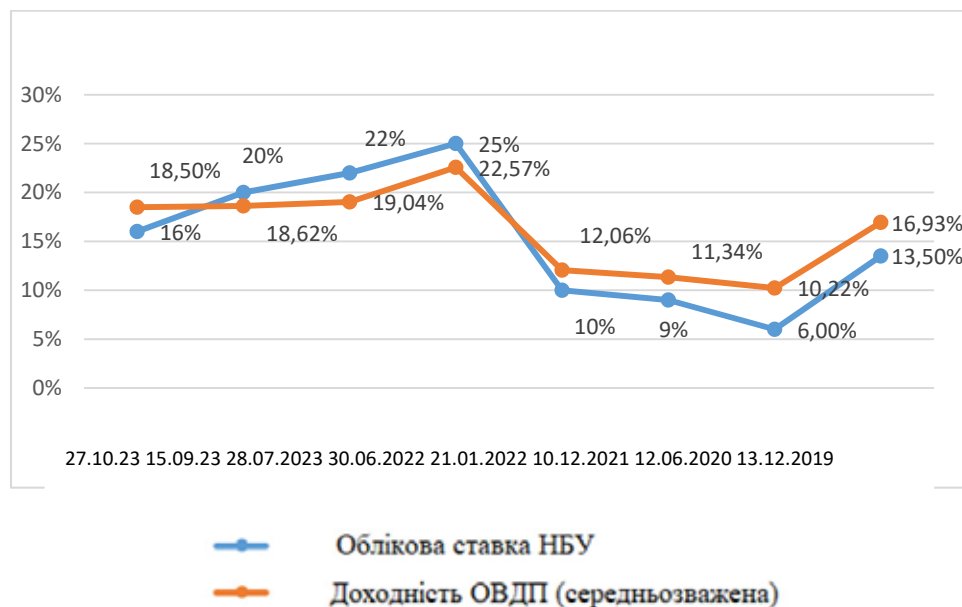


Рис. 2. Взаємозв'язок між доходністю ОВДП та обліковою ставкою НБУ в Україні за період 2019–2023 рр.

Джерело: побудовано автором згідно даних [4, 10]

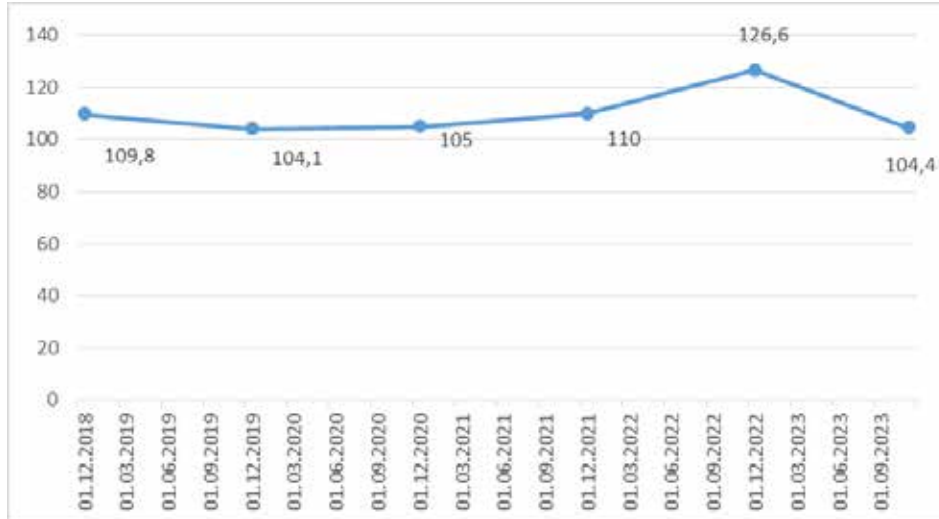


Рис. 3. Динаміка інфляції в Україні за період 2018–01.09.2023 рр.

Джерело: побудовано автором згідно даних [6]

Графік прогнозу інфляції в Україні на період 01.12.2023–01.05.2024 рр. представлений на рисунку 4.

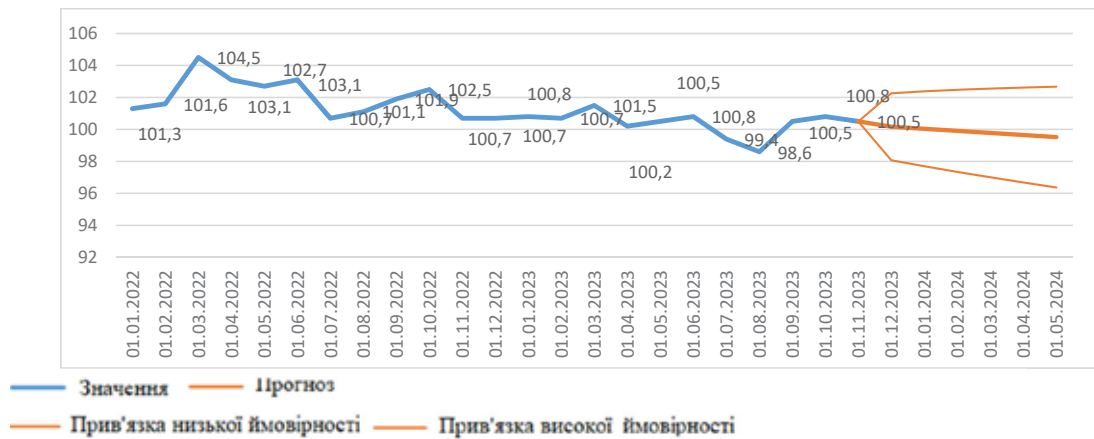


Рис. 4. Прогноз інфляції в Україні на період 01.12.2023–01.05.2024 рр.

Джерело: побудовано автором згідно даних [6]

Графік прогнозу доходності ОВДП на період 01.12.2023–01.05.2024 рр. представлена на рис. 5.



Рис. 5. Прогноз доходності ОВДП на період 01.12.2023–01.05.2024 рр.

Джерело: побудовано автором згідно даних [4]

Графік прогнозу коштів залучених до бюджету від продажу ОВДП, млн. грн. на період 01.12.2023–01.05.2024 рр. представлена на рис. 6.

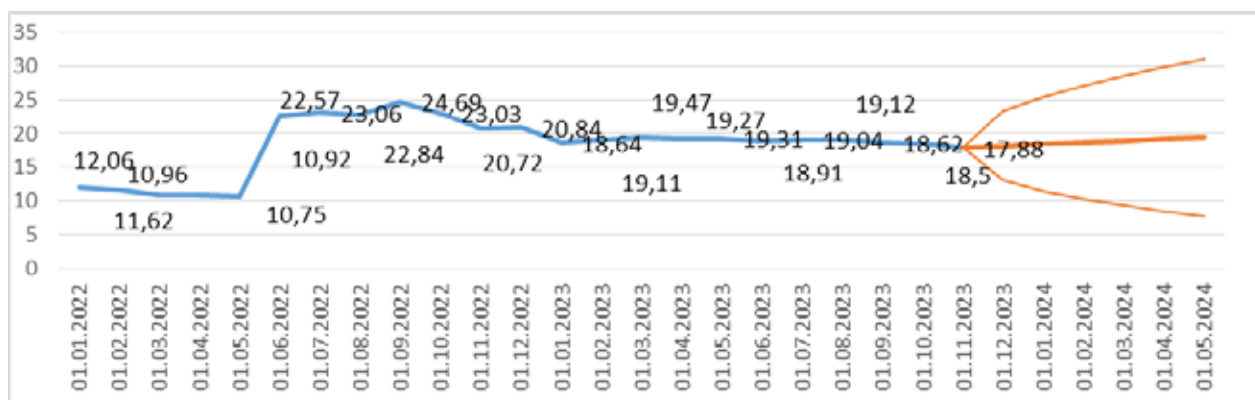


Рис. 6. Прогноз коштів залучених до бюджету від продажу ОВДП, млн. грн. на період 01.12.2023–01.05.2024 рр.

Джерело: побудовано автором згідно даних [9]

Отримані прогнознi даннi середньострокової доходності облігацій внутрішньої державної позики, коштів залучених до державного бюджету від розміщення на фондовому ринку ОВДП та інфляції зведено у табл. 2.

Прогноз доходності за гривневими ОВДП доводить, що динаміка має тенденцію до її підвищення, оскільки спостерігалася висока інфляція у 2022 році тому і крива доходності на майбутнє теж зберігається на рівні 19,0% станом на 01.05.2024 р. Спираючись на прогнознi дані, дохідність ОВДП залишається достатньо високою у випадку незмінних умов стану країни, що може забезпечити жвавий попит на фондовому ринку. У випадку пом'якшення процентної політики інвестори будуть зацікавлені у можливості зафіксувати привабливу дохідність.

За отриманими розрахунками прогнозу щодо інфляції то у місячному вимірі зафіксовано дефляцію на 01.02–01.05.2024 р. з динамікою до зниження показників, тобто ціни можуть знизитися на 0,48%. За останні 4 місяці 2023 року є тренд росту кредитування, а це також матиме свої впливи на інфляцію. Прогноз дає надії, про відновлення економічної активності. Водночас ризики посилення інфляційного тиску зберігаються передусім з огляду на високі безпекові ризики, що негативно впливають на очікування, а також подальші руйнування, пов'язані з війною тому, на цінову динаміку може вплинути швидше, ніж прогнозується. Зниження інфляції залежатиме від підтримки міжнародних партнерів, емісії коштів, війни в Україні та росту кредитування. При

Таблиця 2. Прогноз доходності ОВДП, коштів залучених до державного бюджету та інфляції на період 01.12.2023–01.05.2024 рр.

Період	Прогноз доходності ОВДП, %		
	Прогноз	Прив'язка низької ймовірності	Прив'язка високої ймовірності
01.12.2023	18,213209	17,88	23,36
01.01.2024	18,455679	13,07	25,38
01.02.2024	18,698149	11,53	27,04
01.03.2024	18,940619	10,36	28,49
01.04.2024	19,183089	9,39	29,80
01.05.2024	19,425559	8,56	31,02
Період	Прогноз коштів залучених до бюджету від продажу ОВДП, млн. грн.		
	Прогноз	Прив'язка низької ймовірності	Прив'язка високої ймовірності
01.12.2023	38 168,39	19 092,71	57 244,07
01.01.2024	39 542,26	20 466,50	58 618,03
01.02.2024	40 916,13	21 840,21	59 992,05
01.03.2024	42 290,00	23 213,84	61 366,16
01.04.2024	43 663,87	24 587,37	62 740,37
01.05.2024	45 037,73	25 960,77	64 114,70
Період	Прогноз індекса інфляції в Україні, %		
	Прогноз	Прив'язка низької ймовірності	Прив'язка високої ймовірності
01.12.2023	100,17	98,07	102,26
01.01.2024	100,04	97,70	102,38
01.02.2024	99,91	97,34	102,47
01.03.2024	99,78	97,01	102,55
01.04.2024	99,65	96,68	102,62
01.05.2024	99,52	96,37	102,67

Джерело: побудовано автором

уповільнені інфляції Національний банк України буде вимушений знизити облікову ставку, то ставки за ОВДП також знизяться [5].

Відносно прогнозу коштів залучених до бюджету від продажу гривневих ОВДП очікується зниження надходження на 18,0% у 01.12.23 р. в порівнянні з 01.11.2023 р. (46 856,90 млн. грн), але зберігається поступове збільшення показників до 45,037,73 млн. грн. станом на 01.05.2024 р. Це може бути пов'язано зі зменшенням облікової ставки, що вплине на зниження ставок за ОВДП і відповідно на їх попит.

Висновки. Однією з основних складових фінансового сектору є фондовий ринок, без розвитку якого неможливо забезпечити стабільне зростання національної економіки. На сьогоднішній день ОВДП є найбільш прибутковим інструментом заощаджень, збереження яких гарантує держава. В даному дослідженні були проаналізовані такі фактори фондового ринку, як інфляція, доходність ОВДП та їх вплив на підтримку державного бюджету. В результаті було виявлено щільний зв'язок між доходністю держоблігацій та обліковою ставкою НБУ в Україні за 2019–2023 рр. Спираючись на прогнозні дані: доходність ОВДП залишається достатньо високою у випадку незмінних умов стану країни, що може забезпечити жвавий попит на фондовому ринку; інфляції то у місячному вимірі зафіксовано дефляцію на період 01.02–01.05.2024 р. з динамікою до зниження показників; коштів залучених до бюджету від розміщення гривневих ОВДП очікується зниження на кінець 2023 та початок 2024 рр., але зберігається її поступове збільшення на 01.05.2024 р. Отриманий прогноз дає надії, про відновлення економічної активності. Водночас ризики посилення інфляційного тиску зберігаються передусім з огляду на високі безпекові ризики, що негативно можуть вплинути на очікування. Перспективою подальшого дослідження є формування економіко-математичних моделей окремих змінних, які дозволять описати їх вплив на діяльність фондового ринку.

Список використаних джерел

1. Богріновцева Л. М., Ключка О. В. Особливості розвитку ринку державних боргових цінних паперів України. Електронний журнал: ЕКОНОМІКА ТА СУСПІЛЬСТВО. 2023. № 53. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2629/2547> (дата звернення: 12.12.2023)
2. Гордейчик Є. Коротка інструкція з купівлі цінних паперів. CHAS.NEWS. 14. 12.2021. URL: <https://chas.news/current/chomu-ukraintsi-pochali-masovo-skupovuvati-obligatsii-vnutrishnoi-derzhavnoi-poziki-ta-chim-voni-kraschi-za-depozit> (дата звернення: 10.12.2023)
3. Державний борг та гарантований державою борг. Міністерство фінансів України. 2023. URL: <https://mof.gov.ua/uk/derzhavnij-borg-ta-garantovani-derzhavju-borg> (дата звернення: 15.12.2023)
4. Доходність ОВДП на первинному ринку, щомісяця URL: <https://bank.gov.ua/ua/markets/primary-ovdp-chart> (дата звернення: 15.12.2023)
5. Жирій К. НБУ змінив прогноз інфляції на 2023 рік: що буде з цінами. 27.04.23 URL: <https://www.unian.ua/economics/finance/nbu-zminiv-prognoz-influacii-na-2023-rik-shcho-bude-z-cinami-12235701.html>. (дата звернення: 18.12.2023)
6. Індекс інфляції в Україні. 2023. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/> (дата звернення: 20.12.2023)
7. Інформаційна довідка щодо ринків капіталу України протягом січня – жовтня 2023 року. Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку. URL: https://www.nssmc.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/informatsiina_dovidka_za_zhovten_2023.pdf (дата звернення: 19.12.2023)
8. Інфляційний звіт НБУ. 2023 URL: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/IR_2023-Q4.pdf (дата звернення: 20.12.2023)
9. Мінфін залучив до держбюджету через ОВДП рекордні 17,2 млрд грн. URL: <https://forbes.ua/news/minfin-zaluchiv-do-derzhbyudzhetu-cherez-ovdp-rekordni-1722-mlrd-grn-18102022-9121> (дата звернення: 05.12.2023)
10. Облікова ставка Національного банку України з 2013 по 2023 роки URL: <https://services.dtkr.ua/catalogues/indexes/5> (дата звернення: 23.12.2023)
11. Філімонова О. Б., Монетарні наслідки коливання доходності ОВДП. Ефективна економіка № 2. 16 с. 25.02.2021. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/2_2021/106.pdf (дата звернення: 13.12.2023).

Kravchenko V.P.

PhD in Economic Sciences,

Senior Lecturer at the Department of Finance, Banking and Insurance,

Central Ukrainian National Technical University

Kropyvnytskyi, Ukraine

E-mail: kravchen64@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4343-6296

FACTOR ANALYSIS OF THE DOMESTIC STATE LOAN BONDS MARKET

Abstract

The functioning of the developed market of domestic government securities is extremely important for the effective attraction of resources in the process of financing budgetary needs and the proper functioning of the country's investment market. The work analyzed the dynamics of the yield of domestic state loan bonds and funds raised to the state budget from their placement on the stock market

and the rate of inflation in Ukraine. It was found that the OVDP is currently the most profitable savings instrument. The state received high profits from the placement of domestic state loan bonds. Accelerated inflation affected the growth of OVDP yields. Domestic government loan bonds are an instrument of fiscal policy, as their main purpose is to provide a source of refinancing of public debt. The impact of the relationship between the yield of government bonds and the NBU discount rate in Ukraine was studied. Domestic state loan bonds are closely related to the NBU discount rate, which determines the yield of these securities. The issue of forecasting the profitability of domestic state loan bonds, inflation and funds raised to the state budget from their placement on the stock market is considered. Forecast data on the yield of OVDP remains sufficiently high in the case of unchanged conditions of the state of the country, which can ensure lively demand on the stock market and compete with deposit deposits. The obtained forecast gives hope for the recovery of economic activity. Risks of increased inflationary pressure remain primarily due to high security risks, which may negatively affect expectations. Factor analysis of the OVDP market is fundamentally important and necessary in the development of effective economic policy and measures to maintain a stable situation in the conditions of martial law in Ukraine.

Key words: bonds, yield, inflation, budget, forecasting

References

1. BogrInovtseva, L.M., & Klyuchka, O.V. (2023). Osoblivosti rozvitku rinku derzhavnih borgovih tsinnih paperiv Ukrayini [Peculiarities of the development of the government debt securities market of Ukraine]. *EKONOMIKA TA SUSPILSTVO*, 53. Retrieved from: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2629/2547> [in Ukrainian]
2. Gordeychik, E. (2021). Korotka instruktsiya z kupivli tsinnih paperiv [Short instructions for buying securities]. Retrieved from: <https://chas.news/current/chomu-ukraintsi-pochali-masovo-skupovuvati-obligatsii-vnutrishnoi-derzhavnoi-poziki-ta-chim-voni-kraschi-za-depozit> [in Ukrainian]
3. Derzhavniy borg ta garantovaniy derzhavoyu borg. 2023 rik [State debt and state-guaranteed debt. 2023 year]. Retrieved from: <https://mof.gov.ua/uk/derzhavniy-borg-ta-garantovaniy-derzhavju-borg> [in Ukrainian]
4. Dohidnist OVDP na pervinnomu rinku, schomisyatsya (2023) [Yield of OVDP on the primary market, monthly]. Retrieved from: <https://bank.gov.ua/ua/markets/primary-ovdp-chart> [in Ukrainian]
5. Zhiriy, K. (2023). NBU zminiv prognoz inflyatsiyi na 2023 rik: scho bude z tsunami [NBU has changed the inflation forecast for 2023: what will happen to prices. 27.04.23]. Retrieved from: <https://www.unian.ua/economics/finance/nbu-zminiv-prognoz-inflyaciji-na-2023-rik-shcho-bude-z-cinami-12235701.html> [in Ukrainian]
6. Indeks inflyatsiyi v Ukrayini. (2023) [Inflation index in Ukraine 2023]. Retrieved from: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/> [in Ukrainian]
7. Informatsiyana dovidka schodo rinkiv kapitalu Ukrayini protyagom sichnya – zhovtnya 2023 roku [Informational reference on the capital markets of Ukraine during January – October 2023]. Retrieved from: https://www.nssmc.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/informatsiina_dovidka_za_zhovten_2023.pdf [in Ukrainian]
8. Inflyatsiyinyi zvit NBU (2023). [Inflation report of the NBU 2023] Retrieved from: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/IR_2023-Q4.pdf [in Ukrainian]
9. Minfin zaluchiv do derzhbyudzhetu cherez OVDP rekordni 17,2 mlrd grn (2022). [The Ministry of Finance attracted a record 17.2 billion UAH to the state budget through the OVDP 2022]. Retrieved from: <https://forbes.ua/news/minfin-zaluchiv-do-derzhbyudzhetu-cherez-ovdp-rekordni-1722-mlrd-grn-18102022-9121> [in Ukrainian]
10. Oblikova stavka Natsionalnogo banku Ukrayini z 2013 po 2023 roki [The accounting rate of the National Bank of Ukraine from 2013 to 2023]. Retrieved from: <https://services.dtkr.ua/catalogues/indexes/5> [in Ukrainian]
11. Filimonova, O.B. (2021). Monetarni naslidki kolivannya dohidnosti OVDP [Monetary consequences of fluctuations in the yield of OVDP 2021]. *Efficient economy*, 2. 16 p. 02/25/2021 [in Ukrainian]

ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

УДК 579.62.

Строїч В. В.

аспірант

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Кам'янець-Подільський, Україна

ORCID: 0009-0002-0237-1289

Горюк Ю. В.

доктор ветеринарних наук,

доцент кафедри ветеринарного акушерства, внутрішньої патології та хірургії,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Кам'янець-Подільський, Україна

E-mail: goruky@ukr.net

ORCID: 0000-0002-7162-8992

АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ ДО АНТИБІОТИКІВ МІКРОБІОТИ ШКІРИ ЗДОРОВИХ СОБАК ТА ЗА ПОДЕРМІЇ

Анотація

Поверхнева піодермія собак – це шкірна інфекція спричинена такими бактеріями, як *S. pseudintermedius*, *S. schleiferi*, *S. epidermidis*, *Escherichia coli* та видами родів *Pseudomonas* і *Proteus*. Хоча вважається, що піодермія у собак виникає, як вторинний симптом і є проявом основної хвороби, разом з тим під час лікування даного гнійно-запального процесу застосовують антибіотики системної дії. Метою даного дослідження було порівняти чутливість до антибіотиків у бактерій виділених з шкіри здорових собак та основних збудників, які виділяються за піодермії.

Визначення чутливості виділених бактерій до антимікробних препаратів проводили методом дифузії в агар з використанням комерційних дисків відповідно до стандарту CLSI. Використовували диски з наступними антибіотиками: амоксицилін з клавулановою кислотою (20+10 мкг), цефквіном (25 мг), цефтриаксон (30 мкг), цефалексин (30 мкг), марбофлоксацин (5 мкг), тілозин (50 мкг), тетрациклін (30 мкг).

Встановлено, що основні види мікробіоценозу шкіри здорових собак *S. pseudintermedius*, *S. epidermidis* та *S. saprophyticus* були високочутливими до беталактамного антибіотику пеніцилінового ряду амоксициліну з клавулановою кислотою, цефалоспоринових антибіотиків I–IV покоління (цефалексину, цефтриаксону й цефквіному) та фторхінолонового антибіотику марбофлоксацину, так як чутливість бактерій становила від 82,3 до 100%.

За піодермії собак, яка реєструвалася повторно, виявляли стійкіші до антибіотиків стафілококи, кишкову й синьогнійну палички. Чутливість *S. pseudintermedius* до амоксициліну з клавулановою кислотою була 58,0%, до цефалоспоринових антибіотиків й марбофлоксацину в діапазоні 64,5–74,2%. Аналогічну тенденцію відмічали при визначенні чутливості у *E. coli* й *P. aeruginosa*, винятком були лише антибіотики тілозин й тетрациклін до яких були чутливими 30–40% даних культур.

Отже, застосування мікробіологічних посів з ізоляцією збудників та визначення антимікробної чутливості є однією з умов зменшення розповсюдження резистентних мікроорганізмів та ефективного лікування. До того ж пошук нових високоефективних та безпечних методів лікування інфікованих вогнищ є альтернативою за піодермії собак.

Ключові слова: піодермія, антибіотикограма, стафілококи, *S. pseudintermedius*, збудники піодермії, мікробіота.

Вступ. Ефективність будь якої антибіотикотерапії залежить від чутливості бактеріальних збудників, які приймають участь у запальному процесі [6, 28]. При бактеріальних інфекціях шкіри у собак найпоширенішим

захворюванням є поверхнева піодермія [8, 15, 30]. У собак поверхнева або глибока піодермія більше поширена, ніж у інших видів савців, і зазвичай викликається коагулазопозитивним видом *S. pseudintermedius* [12].

Незважаючи на те, що піодермія рідко загрожує життю тварин, вона значною мірою викликає дискомфорт у собак через наявний свербіж або біль і розвиток важких запальних процесів шкіри [7, 18]. Тому практичні лікарі ветеринарної медицини під час лікування собак за піодермії зазвичай в 100% випадків назначають місцеvu та системну протимікробну терапію антибіотиками широкого спектру дії [27]. Вчені вважають, що піодермія в основному є вторинною інфекцією по відношенню до основного захворювання, тому часто відмічається рецидив, якщо первинне захворювання або причину не було усунено [11]. При цьому застосування антибіотиків базується на емпіричному характері, тоді як на основі даних антибіотикограми лише, в середньому 5% [2, 27, 29]. Це обумовлено тим, що у минулому лікування піодермії собак рідко було складним, оскільки збудники (зазвичай стафілококи) були широко чутливими до антибактеріальних препаратів широкого спектру дії [3, 9, 17].

Такий підхід, як звичайне лікування системними протимікробними препаратами збільшило кількість мультирезистентних бактерій, зокрема стійких до метициліну *S. pseudintermedius*. У стафілококів резистентність до бета-лактамних антибіотиків, таких як метицилін, виникає внаслідок набуття мобільного сегмента гена, який називається *staphylococcal cassette chromosome mec* (SCCmec) [16]. Останнім часом дослідники виявили, що культури *S. pseudintermedius*, які були виділені від людей мають походження від собак, тому цей вид розглядається як важливий зоонозний патоген [10, 18, 23]. Разом з тим під час прямої передачі *S. pseudintermedius* власникам собак, стійкі до ліків фрагменти генів, що переносяться штамом, мають можливість обмінюватися з іншими стафілококами в організмі людини [10, 22]. У такому випадку ризик горизонтального перенесення генів від штаму собаки до ізолятів власника може спровокувати у майбутньому більшу появу стійких бактерій до багатьох антимікробних препаратів серед людей.

Отже, для ефективного лікування піодермії собак та розроблення нових лікувальних заходів даного захворювання необхідно проаналізувати роль і стійкість до антибіотиків мікрофлори біотопу шкіри здорових і хворих на піодермію собак.

Метою роботи було провести порівняльний аналіз антибіотикограм мікробіоти виділеної з шкіри клінічно здорових собак та за піодермії.

Матеріали і методи. Дослідження проведено в приватній клініці ветеринарної медицини (м. Чернівці). Змиви зі шкіри здорових і хворих на піодермію собак відбирали за допомогою одноразового стерильного тампону. Відібрані змиви відправляли у мікробіологічну лабораторію для виділення та ідентифікації мікробіоти. Мікробіологічні дослідження щодо виділення мікрофлори проводили за загальноприйнятими у мікробіологічній практиці методами [24, 25]. Ідентифікацію виділених культур мікроорганізмів здійснювали згідно визначника Берджі та використанням тест-систем: "STAPHY-test 16", "En-coccus-test 36", "HEFERM тест-24".

Визначення чутливості виділених бактерій до антимікробних препаратів проводили методом дифузії в агар з використанням комерційних дисків відповідно до стандарту CLSI [5]. Використовували диски з наступними антибіотиками: амоксицилін з клавулановою кислотою (20+10 мкг), цефквіном (25 мг), цефтриаксон (30 мкг), цефалексин (30 мкг), марбофлоксацин (5 мкг), тілозин (50 мкг), тетрациклін (30 мкг).

Статистичну обробку отриманих даних проводили з використанням програми Statistica 9.0 (StatSoft Inc., USA). Визначали середнє арифметичне (m), стандартну похибку середньої величини ($M \pm m$). Різниця між величинами вважалася вірогідною за p не нижче 0,05.

Результати досліджень. У попередньому нашому дослідженні [25] виявлено, що мікробіота шкіри клінічно-здорових собак була представлена наступними видами автохтонних бактерій, зокрема коагулазопозитивний вид *S. pseudintermedius* та коагулазо-варіабельний вид *S. schleiferi subsp. coagulans* займають основну нішу до 65%, на частку коагулазонегативних стафілококів припадає до 30% від усіх ідентифікованих стафілококів. Враховуючи такий мікробіоценоз було визначено чутливість до антимікробних препаратів у видів *S. pseudintermedius* ($n=17$), *S. epidermidis* ($n=19$), *S. saprophyticus* ($n=22$), тобто у дослід взято коагулазопозитивні та коагулазонегативні види стафілококів біотопу шкіри здорових собак (рис. 1). При цьому у дослідженні використано диски з антимікробними препаратами, які зазвичай використовують у даних ветеринарних клініках.

Встановлено, що стафілококи мікробіоти шкіри клінічно здорових собак у загальному були чутливими до антибактеріальних препаратів використаних у даному дослідженні. Так, до амоксициліну з клавулановою кислотою були чутливими 82,3% ($n=14$) культур *S. pseudintermedius*, 89,5–95,4% культур коагулазонегативних видів *S. epidermidis* та *S. saprophyticus*, відповідно. До антибіотиків бета-лактамів цефалоспоринового ряду I (цефалексин), III (цефтриаксон) й IV (цефквіном) поколінь були чутливими 94,1% ($n=16$) культур *S. pseudintermedius* та в межах 90–100% штамів *S. epidermidis* й практично всі бактерії *S. saprophyticus*. Фторхінолоновий антибіотик третього покоління марбофлоксацин, який використовується тільки у ветеринарній медицині, також добре проявляв антибактеріальну дію, оскільки 88,2% ($n=15$) штамів *S. pseudintermedius* були чутливими, а серед коагулазонегативних видів стійких не виявлялося.

Чутливість стафілококів до макролідного антибіотику тілозину була дещо нижча, ніж до бета-лактамних цефалоспоринових та фторхінолонового, зокрема кількість чутливих культур *S. pseudintermedius* і *S. epidermidis* становила 82,3–84,2% відповідно. Клітини виду *S. saprophyticus* були чутливими до даного антибіотику у 90,9% ($n=20$).

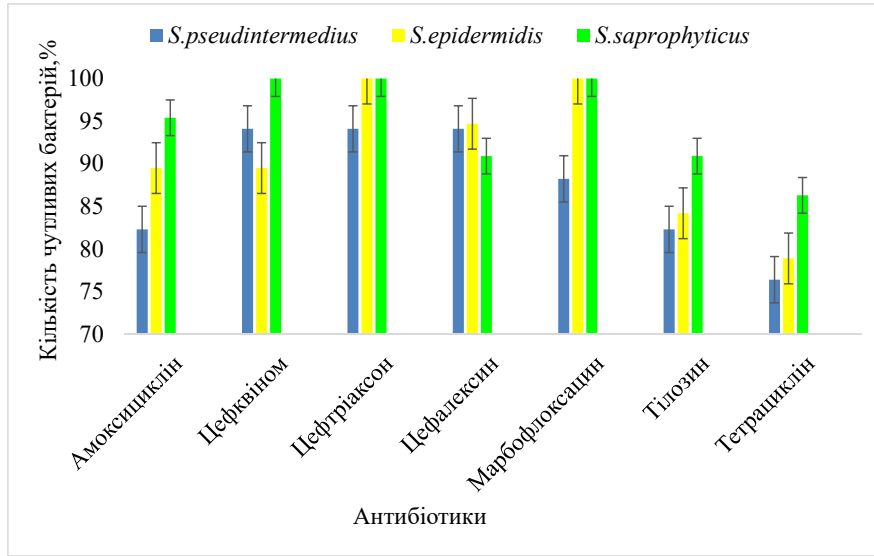


Рис. 1. Чутливість виділених стафілококів з шкіри клінічно-здорових здорових собак

Найнижчу чутливість виділених стафілококів спостерігали до тетрацикліну, яка була на рівні 76,4–78,9% у видів *S. pseudintermedius* і *S. epidermidis* та 86,3% (n=19) у виду *S. saprophyticus*.

Отже, основні автохтонні коагулазопозитивні й коагулазонегативні види стафілококів шкіри клінічно здорових собак зазвичай проявляли високу чутливість до широковживаних антибактеріальних препаратів.

Наступним етапом експериментальної роботи було порівняти дані антибіотикограми у стафілококів виділених за поверхневого фолікуліту та за шкірно-слизової піодермії собак. Адже попередні наші дослідження [22] показали, що з даних вогнищ виділялася практично така сама мікрофлора, як із шкіри здорових собак. Зокрема, за піодермії у монокультури був виділений вид *S. pseudintermedius* в 85,8% випадків. У 57,1% випадків асоціація за піодермії була представлена коагулазопозитивними стафілококами та кишковою паличкою, у 4,0 раза рідше виявляли мікробну асоціацію з коагулазопозитивних стафілококів та синьогнійної палички – 14,3% випадків. Тому результати отримані в такому дослідженні, зможуть ґрунтовніше розкрити ефективність антибіотикотерапії за даного захворювання. На рис. 2 наведено результати антибіотикограми стафілококів ізольованих із запальних вогнищ собак, як первинно захворіли на шкірні захворювання. При цьому досліджено *S. pseudintermedius* (n=37), *S. epidermidis* (n=41), *E. coli* (n=29) та *P. aeruginosa* (n=38).

Встановлено (рис. 2), що основний мікроорганізм, який виділяється з вогнища запалення – *S. pseudintermedius* у більшості випадків був чутливий до перевірених антибіотиків. Чутливість даного виду до беталактамного антибіотика пеніцилінового ряду й макролідів тілозину становила по 75,7% (n=28), до беталактамних антибіотиків цефалоспоринового ряду у межах 72,9–86,5%, до марбофлоксацину – 86,5 (n=32) та найнижча – була до тетрацикліну 70,3% (n=26). Це дає підставу вважати, що за піодермії у собак, яка виникає вперше чутливість основних

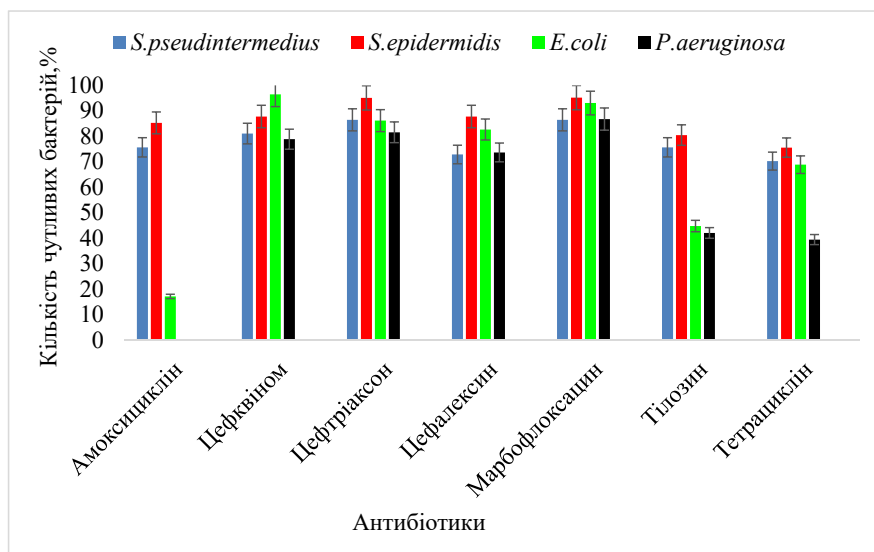


Рис. 2. Чутливість виділених бактерій виділених з шкіри за піодермії собак, у яких хвороба реєструвалася вперше

представників мікробіоти шкіри суттєво не відрізняється від чутливості у цих мікроорганізмів виділених від клінічно здорових собак.

Чутливість у коагулазонегативного виду *S. epidermidis* до всіх беталактамних антибіотиків та фторхінолонового марбофлоксацину була дещо вища, ніж у *S. pseudintermedius* і становила в межах 85,3–95,2%. До тілозину й макролідів чутливість була нижча, порівнюючи з попередніми антибіотиками і становила 80,5–70,3%, відповідно. Це вказує, що застосування даних антибіотиків за піодермії буде досить ефективним для знищення мікроорганізмів у вогнищі запалення.

Виділені з вогнища запалення бактерії *E. coli* виявилися досить високочутливими до беталактамних антибіотиків цефалоспоринового ряду й фторхінолонового антибіотика марбофлоксацину, оскільки чутливість була в межах 82,7–96,5%, проте дуже низька до амоксициліну з клавулановою кислотою – 17,2% (n=5). Менш дієві були антибіотики тілозин й тетрациклін щодо *E. coli*, так як чутливість до них становила 44,8–68,9%.

Серед виділених бактерій *P. aeruginosa* була найстійкіша до антимікробних препаратів. Зокрема, препарати пеніцилінового ряду взагалі не дієві через природно стійкість синьогнійної палички до них, чутливість до беталактамів цефалоспоринового ряду становила в межах 73,7–81,6%. Добре діяв на клітини *P. aeruginosa* препарат марбофлоксацин, так як чутливість до нього була 86,8% (n=33), а найменший антимікробний ефект проявляли препарати тілозин й тетрациклін, лише 42,1–39,5% культур синьогнійної палички були чутливими до них відповідно.

Антибіотикограма бактерій виділених за піодермії у собак у яких спостерігалися рецидиви наведена на рис. 3. При цьому досліджено *S. pseudintermedius* (n=31), *S. epidermidis* (n=27), *E. coli* (n=38) та *P. aeruginosa* (n=35).

За повторної піодермії виділені збудники були стійкішими до антибактеріальних препаратів. Зокрема, чутливість *S. pseudintermedius* до амоксициліну з клавулановою кислотою була 58,0% (n=18), до цефалоспоринових антибіотиків й марбофлоксацину в діапазоні 64,5–74,2%. Найменше чутливих культур *S. pseudintermedius* було до тілозину й тетрацикліну на рівні 50%. *S. epidermidis* за повторної піодермії також проявляв меншу чутливість до антибіотиків, порівнюючи з культурами виділених шкіри клінічно-здорових собак та за піодермії, яка реєструвалася вперше. В середньому до беталактамних антибіотиків, фторхінолону та тілозину були чутливими близько 65% культур *S. epidermidis*, а до тетрацикліну 51,8% (n=14).

Отже, якщо порівняти ці значення з результатами антибіотикограми бактерій ізольованих з шкіри здорових собак та за піодермії, яка реєструвалася повторно, то відмічаємо виділення на 20–25% більше стійких клітин стафілококів.

Аналогічну тенденцію відмічали й при визначенні чутливості у *E. coli*, винятком були лише антибіотики тілозин й тетрациклін до яких були чутливими 34,2 (n=13) та 42,1% (n=16) відповідно, даних культур. До того ж амоксицилін з клавулановою кислотою зовсім не діяв на культури кишкової палички виділених за піодермії при цих умовах.

Чутливість *P. aeruginosa* до цефалоспоринових антибіотиків була найнижча серед виділених культур і становила в межах 51,4–60%, а чутливість даних бактерій до тілозину й тетрацикліну була ще меншою 31,4% (n=11) та 37,1% (n=13), відповідно. Проте, виявили досить високу протимікробну активність у марбофлоксацину до ізольованих культур синьогнійної палички, чутливість була 77,1% (n=27).

Обговорення. Поверхнева піодермія собак – це шкірна інфекція спричинена такими бактеріями, як *S. pseudintermedius*, *S. schleiferi*, *S. epidermidis*, *Escherichia coli* та видами родів *Pseudomonas* і *Proteus* [22]. Хоча вважається, що піодермія у собак виникає, як вторинний симптом і є проявом основної хвороби, разом з тим під

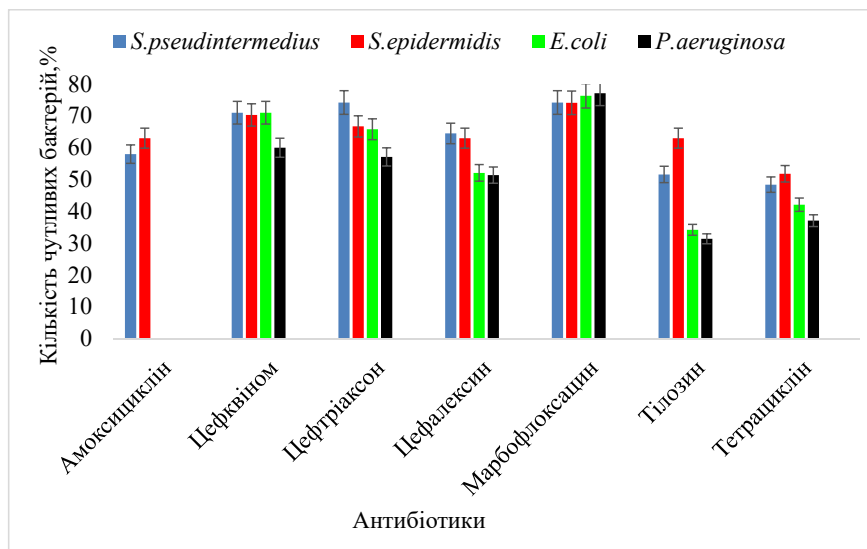


Рис. 3. Чутливість виділених бактерій виділених з шкіри за піодермії собак, у яких хвороба реєструвалася повторно

час лікування даного гнійно-запального процесу застосовують антибіотики системної дії [11, 29]. Метою даного дослідження було порівняти чутливість до антибіотиків у бактерій виділених з шкіри здорових собак та основних збудників, які виділяються за піодермії.

Встановлено, що основні види мікробіоценозу шкіри здорових собак *S. pseudintermedius*, *S. epidermidis* та *S. saprophyticus* були високочутливими до беталактамного антибіотику пеніцилінового ряду амоксициліну з клавулановою кислотою, цефалоспоринових антибіотиків I–IV покоління (цефалексину, цефтріаксону й цефквіному) та фторхінолонового антибіотику марбофлоксацину, так як чутливість бактерій становила від 82,3 до 100%. Дещо нижча чутливість була у даних бактерій до тілозину та тетрацикліну в межах 76,4–90,9%. Це дає підставу вважати, що дані представники бактерій нормобіоценозу шкіри собак не піддавалися дії антимікробних препаратів і в них не відбулося формування антибіотикостійкості. Про високу чутливість мікрофлори шкіри здорових собак до антимікробних препаратів повідомляють й інші дослідники [16, 22], які вважають, що мікробна флора на поверхні шкіри є важливим захисним шаром для підтримки здоров'я шкіри та всього мікросередовища. Ці бактерії можуть активно виділяти певні речовини з антибіотичними властивостями, щоб пригнічувати проліферацію чужорідних мікроорганізмів або здійснювати очисний ефект [14, 30].

Під час оцінки антибіотикограми у бактерій виділених за піодермії, яка проявлялася вперше у собак, встановлено, що основний мікроорганізм, який виділяється з вогнища запалення – *S. pseudintermedius* у більшості випадків був високочутливий (72,9–86,5%) до найбільш часто застосованих антибіотиків (амоксициліну з клавулановою кислотою, цефалоспоринів і фторхінолонів), що суттєво не відрізняється від антибіотикограми здорових собак. До того ж виділені за поверхневої піодермії кишкова та синьогнійна палички, також були високочутливі до цефалоспоринових й фторхінолонового антибіотику – від 73,7 до 96,5%. Проте, проявляли помірну стійкість до тілозину й тетрацикліну, оскільки чутливість була в межах 40–70%. Такі результати подібні до даних [8, 22], які вказують, на високу ефективність таких системних антибіотиків за піодермії собак, як амоксицилін з клавулановою кислотою, цефалексин, кліндоміцин. Однак необхідно відмітити, що комбіновані антибіотики пеніцилінового ряду амоксицилін з клавулановою кислотою є малоєфективними до збудників *E.coli* й *Pa.aeruginosa* [18].

Тому можна припустити, що бактеріальний посів з вогнищ запалення має обмежене значення для первинної діагностики піодермії, оскільки мікрофлора практично ідентична, як у здорової шкіри собак. Водночас з іншого боку, ідентифікація бактеріальної культури та проведення тесту на чутливість до антибактеріальних препаратів є важливим для вибору ефективної системної терапії [20, 21]. Оскільки застосування антибіотиків емпірично призводить до формування антибіотикорезистентності [1, 4], адже стійкість бактеріальних популяцій до антимікробних засобів є явищем природним й життєво важливим для виживання бактерій.

Оцінка антибіотикограми у виділених збудників за піодермії, яка реєструвалася у собак повторно, виявила стійкіші стафілококи, кишкову й синьогнійну паличку до антибіотиків. Зокрема, чутливість *S. pseudintermedius* до амоксициліну з клавулановою кислотою була 58,0%, до цефалоспоринових антибіотиків й марбофлоксацину в діапазоні 64,5–74,2%. Найменше чутливих культур *S. pseudintermedius* було до тілозину й тетрацикліну на рівні 50%. Аналогічну тенденцію відмічали при визначенні чутливості у *E.coli* й *Pa.aeruginosa*, винятком були лише антибіотики тілозин й тетрациклін до яких були чутливими 30–40% даних культур. До того ж амоксицилін з клавулановою кислотою зовсім не діяв на культури кишкової палички виділених за піодермії при цих умовах. Про виділення стійких штамів стафілококів за піодермії в собак повідомляють багато дослідників [9, 22, 27, 29], зокрема [22], вказує, що *S. pseudintermedius* був стійкий у 76,6% випадків до ампіциліну, 72,3% до пеніциліну G, 55,3 % до доксицикліну, 48,9% до гентаміцину, 40,4% до кліндаміцину, 31,9% до енрофлоксацину, 25,5% до цефалексину та цефазоліну та 21,2% до аугментину. Під час аналізу множинної лікарської стійкості 70,2% штамів *S. pseudintermedius* і 83,3% інших штамів стафілококів були полістійкими. Саме набуття генів з множинною лікарською стійкістю у бактеріальних патогенів за піодермії є проблемою, яка спричинили жакливу загрозу для здоров'я людей і тварин. До того ж ситуація ускладнюється тим, що собакам у більшості випадків назначають антибіотики, які використовують у гуманій медицині, як наслідок появився MRSP метицилінрезистентний *S. pseudintermedius* [7, 14, 22, 23].

Отже, піодермія собак потребує відповідного антимікробного лікування, щоб зменшити симптоми і обмежити поширення патогенів потенційно стійких до множинних лікарських засобів, серед домашніх тварин і людей. Застосування мікробіологічних посівів з ізоляцією збудників та визначення антимікробної чутливості є однією з умов зменшення розповсюдження резистентних мікроорганізмів та ефективного лікування. До того ж на законодавчому рівні вводяться різні обмеження щодо використання антимікробних препаратів у ветеринарній медицині тому пошук нових високоєфективних та безпечних методів лікування інфікованих вогнищ є альтернативою за піодермії собак.

Висновки. Основні види мікробіоценозу шкіри здорових собак *S. pseudintermedius*, *S. epidermidis* та *S. saprophyticus* були високочутливими до беталактамного антибіотику пеніцилінового ряду амоксициліну з клавулановою кислотою, цефалоспоринових антибіотиків I–IV покоління (цефалексину, цефтріаксону й цефквіному) та фторхінолонового антибіотику марбофлоксацину, так як чутливість бактерій становила від 82,3 до 100%.

За піодермії собак, яка реєструвалася повторно, виявляли стійкіші до антибіотиків стафілококи, кишкову й синьогнійну палички. Чутливість *S. pseudintermedius* до амоксициліну з клавулановою кислотою була 58,0%,

до цефалоспоринових антибіотиків й марбофлоксацину в діапазоні 64,5–74,2%. Аналогічну тенденцію відмічали при визначенні чутливості у *E.coli* й *P.aeruginosa*, винятком були лише антибіотики тілозин й тетрациклін до яких були чутливими 30–40% даних культур.

Перспективи подальших досліджень полягають у порівнянні патогенних та біохімічних властивостей у стафілококів виділених від клінічно здорових та хворих на піодермію собак.

Список використаних джерел

1. Activity of washing-disinfecting means “San-active” for sanitary treatment of equipment of meat processing enterprises in laboratory and manufacturing conditions / V. Salata et al. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2018. Vol. 1, no. 1. P. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.32718/ujvas1-1.02>
2. Antimicrobial usage in dogs and cats in first opinion veterinary practices in the UK / A. Mateus et al. *Journal of Small Animal Practice*. 2011. Vol. 52, no. 10. P. 515–521. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2011.01098.x>
3. Antimicrobial-resistance trends in bacterial isolates from companion-animal community practice in the UK / E. H. Normand et al. *Preventive Veterinary Medicine*. 2000. Vol. 46, no. 4. P. 267–278. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0167-5877\(00\)00149-5](https://doi.org/10.1016/s0167-5877(00)00149-5)
4. Characteristics of enterococci isolated from raw milk and hand-made cottage cheese in Ukraine / Y. V. Horiuk et al. *Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences*. 2018. Vol. 9, no. 2. P. 1128–1133.
5. CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Tests, 27th ed.; Clinical and Laboratory Standards Institute: Wayne, PA, USA, 2017.
6. Comparison of the minimum bactericidal concentration of antibiotics on planktonic and biofilm forms of *Staphylococcus aureus*: Mastitis causative agents / Y. V. Horiuk et al. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9, no. 6. P. 616–622.
7. Ear canal microbiota – a comparison between healthy dogs and atopic dogs without clinical signs of otitis externa / J. Ngo et al. *Veterinary Dermatology*. 2018. Vol. 29, no. 5. P. 425–e140. DOI: <https://doi.org/10.1111/vde.12674>
8. Effect of topical antimicrobial therapy and household cleaning on meticillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* carriage in dogs / S. Frosini et al. *Veterinary Record*. 2021. Vol. 190, no. 8. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1002/vetr.937>
9. Epidemiosurveillance of antimicrobial compound resistance of *Staphylococcus intermedius* clinical isolates from canine pyodermas / J. L. Pellerin et al. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 1998. Vol. 21, no. 2. P. 115–133. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0147-9571\(97\)00026-x](https://doi.org/10.1016/s0147-9571(97)00026-x)
10. Frequency, antimicrobial susceptibility and clonal distribution of methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* in canine clinical samples submitted to a veterinary diagnostic laboratory in Italy: A 3-year retrospective investigation / G. Ventrella et al. *Veterinary Microbiology*. 2017. Vol. 211. P. 103–106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.09.015>
11. Gortel K. Recognizing pyoderma: more difficult than it may seem. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*. 2013. Vol. 43, no. 1. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2012.09.004>
12. Guidelines for the diagnosis and antimicrobial therapy of canine superficial bacterial folliculitis (Antimicrobial Guidelines Working Group of the International Society for Companion Animal Infectious Diseases) / A. Hillier et al. *Veterinary Dermatology*. 2014. Vol. 25, no. 3. P. 163–e43. DOI: <https://doi.org/10.1111/vde.12118>
13. Individual Signatures Define Canine Skin Microbiota Composition and Variability / A. Cuscó et al. *Frontiers in Veterinary Science*. 2017. Vol. 4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00006>
14. Investigation of In Vitro Susceptibility and Resistance Mechanisms in Skin Pathogens: Perspectives for Fluoroquinolone Therapy in Canine Pyoderma / S. Azzariti et al. *Antibiotics*. 2022. Vol. 11, no. 9. P. 1204. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics1109120>
15. Kalashnikova Y. V., Sukhonos, V. P. Vydovyi sklad ta stiikist do antybiotyktiv mikroflory shkiry zdorovykh i khvorykh na piodermiu sobak. *Naukovyi visnyk veterynarnoi medytsyny*. 2014. Vol. 13. P. 102–104.
16. Katayama Y., Ito T., Hiramatsu K. A New Class of Genetic Element, *Staphylococcus* Cassette Chromosome mec, Encodes Methicillin Resistance in *Staphylococcus aureus*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2000. Vol. 44, no. 6. P. 1549–1555. DOI: <https://doi.org/10.1128/aac.44.6.1549-1555.2000>
17. Lloyd D. H., Garthwaite G. Epidermal structure and surface topography of canine skin. *Research in Veterinary Science*. 1982. Vol. 33, no. 1. P. 99–104. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0034-5288\(18\)32367-1](https://doi.org/10.1016/s0034-5288(18)32367-1)
18. Loeffler A., Lloyd D. H. What has changed in canine pyoderma? A narrative review. *The Veterinary Journal*. 2018. Vol. 235. P. 73–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.04.002>
19. Microflora of boxes for holding veterinary patients in clinics / M. M. Mocherniuk et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13, no. 3. P. 257–264. DOI: <https://doi.org/10.15421/022233>
20. Mocherniuk M., Kukhtyn M. Microbiological indicators of bioaerosol in veterinary medicine clinics. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2022. Vol. 24, no. 108. P. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet10801>
21. Resistance of the main pathogens of mastitis of cows to modern antimicrobial drugs / Y. V. Horiuk et al. *Science and Technology Bulletin of SRC for Biosafety and Environmental Control of AIC*. 2018. Vol. 6, no. 2. P. 49–53.
22. Risk Factors for Antimicrobial Resistance of *Staphylococcus* Species Isolated from Dogs with Superficial Pyoderma and Their Owners / C.-H. Lai et al. *Veterinary Sciences*. 2022. Vol. 9, no. 7. P. 306. DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci9070306>
23. Skin infection caused by a novel strain of *Staphylococcus pseudintermedius* in a Siberian husky dog owner / A. R. Robb et al. *JMM Case Reports*. 2017. Vol. 4, no. 3. DOI: <https://doi.org/10.1099/jmmcr.0.005087>
24. *Staphylococcus aureus* of raw cow's milk / M. D. Kukhtyn et al. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2021. Vol. 23, no. 102. P. 53–59. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet10208>
25. Stroich V. V., Horiuk Y. V. Identification of the skin microbiota of healthy dogs and those with pyoderma. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2023. Vol. 25, no. 110. P. 46–53. DOI: <https://doi.org/10.32718/nvlvet11008>
26. Suggested guidelines for using systemic antimicrobials in bacterial skin infections: part 2– antimicrobial choice, treatment regimens and compliance / L. Beco et al. *Veterinary Record*. 2013. Vol. 172, no. 6. P. 156–160. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.101070>

27. Summers J. F., Hendricks A., Brodbelt D. C. Prescribing practices of primary-care veterinary practitioners in dogs diagnosed with bacterial pyoderma. *BMC Veterinary Research*. 2014. Vol. 10, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-014-0240-5>
28. The effect of antimicrobial agents on planktonic and biofilm forms of bacteria that are isolated from chronic anal fissures / I. M. Kozlovska et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Vol. 8, no. 4. P. 577–582. DOI: <https://doi.org/10.15421/021789>
29. The effectiveness of systemic antimicrobial treatment in canine superficial and deep pyoderma: a systematic review / J. F. Summers et al. *Veterinary Dermatology*. 2012. Vol. 23, no. 4. P. 305–e61. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3164.2012.01050.x>
30. Thematic Review Series: Skin Lipids. Antimicrobial lipids at the skin surface / D. R. Drake et al. *Journal of Lipid Research*. 2007. Vol. 49, no. 1. P. 4–11. DOI: <https://doi.org/10.1194/jlr.r700016-jlr200>

Stroich V. V.

Postgraduate student of the Department of Veterinary Obstetrics, Internal Pathology and Surgery
Higher Educational Institution “Podillia State University”
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
ORCID: 0009-0002-0237-1289

Horiuk Yu. V.

Doctor of Veterinary Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Veterinary Obstetrics, Internal Pathology and Surgery,
Higher Educational Institution “Podillia State University”
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: goruky@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7162-8992

ANALYSIS OF SENSITIVITY TO ANTIBIOTICS OF SKIN MICROBIOTA OF HEALTHY DOGS AND THOSE WITH PYODERMA

Abstract

Superficial canine pyoderma is a skin infection caused by bacteria such as *S. pseudintermedius*, *S. schleiferi*, *S. epidermidis*, *Escherichia coli*, and species of the genera *Pseudomonas* and *Proteus*. Although it is believed that pyoderma in dogs occurs as a secondary symptom and is a manifestation of the main disease, at the same time, systemic antibiotics are used during the treatment of this purulent-inflammatory process. The purpose of this study was to compare the antibiotic sensitivity of bacteria isolated from the skin of healthy dogs and the main pathogens isolated from pyoderma.

Determining the sensitivity of isolated bacteria to antimicrobial drugs was carried out by the method of diffusion in agar using commercial disks in accordance with the CLSI standard. Discs with the following antibiotics were used: amoxicillin with clavulanic acid (20+10 mcg), cefquin (25 mg), ceftriaxone (30 mcg), cephalixin (30 mcg), marbofloxacin (5 mcg), tylosin (50 mcg), tetracycline (30 µg).

It was established that the main types of microbiocenosis of the skin of healthy dogs *S. pseudintermedius*, *S. epidermidis* and *S. saprophyticus* were highly sensitive to the beta-lactam antibiotic of the penicillin series amoxicillin with clavulanic acid, cephalosporin antibiotics of the I-IV generation (cephalexin, ceftriaxone and cefquin) and the fluoroquinolone antibiotic marbofloxacin, as the sensitivity of bacteria ranged from 82.3 to 100%.

For dog pyoderma, which was registered repeatedly, antibiotic-resistant staphylococci, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* were detected. The sensitivity of *S. pseudintermedius* to amoxicillin with clavulanic acid was 58.0%, to cephalosporin antibiotics and marbofloxacin in the range of 64.5–74.2%. A similar trend was observed with determined sensitivity in *E. coli* and *P. aeruginosa*, with the exception of the antibiotics tylosin and tetracycline, to which 30–40% of these cultures were sensitive.

Therefore, the use of microbiological cultures with the isolation of pathogens and the determination of antimicrobial sensitivity is one of the conditions for reducing the spread of resistant microorganisms and effective treatment. In addition, the search for new highly effective and safe methods of treating infected foci is an alternative for canine pyoderma.

Key words: pyoderma, antibiotic profile, staphylococci, *S. pseudintermedius*, causative agents of pyoderma, microbiota.

References

1. Salata, V., Kukhtyn, M., Pekriy, Y., Horiuk, Y., & Horiuk, V. (2018). Activity of washing-disinfecting means “San-active” for sanitary treatment of equipment of meat processing enterprises in laboratory and manufacturing conditions. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 1(1), 10–16. <https://doi.org/10.32718/ujvas1-1.02>
2. Mateus, A., Brodbelt, D.C., Barber, N., & Stärk, K.D.C. (2011). Antimicrobial usage in dogs and cats in first opinion veterinary practices in the UK. *Journal of Small Animal Practice*, 52(10), 515–521. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2011.01098.x>
3. Normand, E.H., Gibson, N.R., Reid, S.W.J., Carmichael, S., & Taylor, D.J. (2000). Antimicrobial-resistance trends in bacterial isolates from companion-animal community practice in the UK. *Preventive Veterinary Medicine*, 46(4), 267–278. [https://doi.org/10.1016/s0167-5877\(00\)00149-5](https://doi.org/10.1016/s0167-5877(00)00149-5)
4. Horiuk, Y.V., Kukhtyn, M.D., Vergeles, K.M., Kovalenko, V.L., Verkholiuk, M.M., Peleno, R.A., & Horiuk, V.V. (2018). Characteristics of enterococci isolated from raw milk and hand-made cottage cheese in Ukraine. *Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences*, 9(2), 1128–1133.
5. CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Tests, 27th ed.; Clinical and Laboratory Standards Institute: Wayne, PA, USA, 2017.

6. Horiuk, Y.V., Havrylianchuk, R.Y., Horiuk, V.V., Kukhtyn, M.D., Stravskyy, Y.S., & Fotina, H.A. (2018). Comparison of the minimum bactericidal concentration of antibiotics on planktonic and biofilm forms of *Staphylococcus aureus*: Mastitis causative agents. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 616-622.
7. Ngo, J., Taminiau, B., Fall, P.A., Daube, G., & Fontaine, J. (2018). Ear canal microbiota – a comparison between healthy dogs and atopic dogs without clinical signs of otitis externa. *Veterinary Dermatology*, 29(5), 425–e140. <https://doi.org/10.1111/vde.12674>
8. Frosini, S., Bond, R., King, R., Feudi, C., Schwarz, S., & Loeffler, A. (2021). Effect of topical antimicrobial therapy and household cleaning on methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* carriage in dogs. *Veterinary Record*, 190(8). <https://doi.org/10.1002/vetr.937>
9. Pellerin, J.L., Bourdeau, P., Sebbag, H., & Person, J.M. (1998). Epidemiological surveillance of antimicrobial compound resistance of *Staphylococcus intermedius* clinical isolates from canine pyodermas. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 21(2), 115–133. [https://doi.org/10.1016/s0147-9571\(97\)00026-x](https://doi.org/10.1016/s0147-9571(97)00026-x)
10. Ventrella, G., Moodley, A., Grandolfo, E., Parisi, A., Corrente, M., Buonavoglia, D., & Guardabassi, L. (2017). Frequency, antimicrobial susceptibility and clonal distribution of methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* in canine clinical samples submitted to a veterinary diagnostic laboratory in Italy: A 3-year retrospective investigation. *Veterinary Microbiology*, 211, 103–106. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.09.015>
11. Gortel, K. (2013). Recognizing pyoderma: more difficult than it may seem. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*, 43(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2012.09.004>
12. Hillier, A., Lloyd, D.H., Weese, J.S., Blondeau, J.M., Boothe, D., Breitschwerdt, E., Guardabassi, L., Papich, M.G., Rankin, S., Turnidge, J.D., & Sykes, J.E. (2014). Guidelines for the diagnosis and antimicrobial therapy of canine superficial bacterial folliculitis (Antimicrobial Guidelines Working Group of the International Society for Companion Animal Infectious Diseases). *Veterinary Dermatology*, 25(3), 163–e43. <https://doi.org/10.1111/vde.12118>
13. Cuscó, A., Sánchez, A., Altet, L., Ferrer, L., & Francino, O. (2017). Individual Signatures Define Canine Skin Microbiota Composition and Variability. *Frontiers in Veterinary Science*, 4, 1–6. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00006>
14. Azzariti, S., Bond, R., Loeffler, A., Zendri, F., Timofte, D., Chang, Y.-M., & Pelligand, L. (2022). Investigation of In Vitro Susceptibility and Resistance Mechanisms in Skin Pathogens: Perspectives for Fluoroquinolone Therapy in Canine Pyoderma. *Antibiotics*, 11(9), 1204. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11091204>
15. Kalashnikova, Yu.V., & Sukhonos, V.P. (2014). Vydovyi sklad ta stiikist do antybiotykyv mikroflory shkiry zdorovykh i khvorykh na piodermiiu sobak. *Naukovyi visnyk veterynarnoi medytsyny*, (13), 102–104.
16. Katayama, Y., Ito, T., & Hiramatsu, K. (2000). A New Class of Genetic Element, *Staphylococcus* Cassette Chromosome mec, Encodes Methicillin Resistance in *Staphylococcus aureus*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 44(6), 1549–1555. <https://doi.org/10.1128/aac.44.6.1549-1555.2000>
17. Lloyd, D.H., & Garthwaite, G. (1982). Epidermal structure and surface topography of canine skin. *Research in Veterinary Science*, 33(1), 99–104. [https://doi.org/10.1016/s0034-5288\(18\)32367-1](https://doi.org/10.1016/s0034-5288(18)32367-1)
18. Loeffler, A., & Lloyd, D.H. (2018). What has changed in canine pyoderma? A narrative review. *The Veterinary Journal*, 235, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.04.002>
19. Mocherniuk, M.M., Kukhtyn, M.D., Horiuk, Y.V., Horiuk, V.V., Tsvigun, O.A., & Tokarchuk, T.S. (2022). Microflora of boxes for holding veterinary patients in clinics. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(3), 257–264. <https://doi.org/10.15421/022233>
20. Mocherniuk, M., & Kukhtyn, M. (2022). Microbiological indicators of bioaerosol in veterinary medicine clinics. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 24(108), 3–10. <https://doi.org/10.32718/nvlvet10801>
21. Horiuk, Y.V., Kukhtyn, M.D., Perkiy, Y.B., & Horiuk, V.V. (2018). Resistance of the main pathogens of mastitis of cows to modern antimicrobial drugs. *Science and Technology Bulletin of SRC for Biosafety and Environmental Control of AIC*, 6(2), 49-53.
22. Lai, C.-H., Ma, Y.-C., Shia, W.-Y., Hsieh, Y.-L., & Wang, C.-M. (2022). Risk Factors for Antimicrobial Resistance of *Staphylococcus* Species Isolated from Dogs with Superficial Pyoderma and Their Owners. *Veterinary Sciences*, 9(7), 306. <https://doi.org/10.3390/vetsci9070306>
23. Robb, A.R., Wright, E.D., Foster, A.M.E., Walker, R., & Malone, C. (2017). Skin infection caused by a novel strain of *Staphylococcus pseudintermedius* in a Siberian husky dog owner. *JMM Case Reports*, 4(3). <https://doi.org/10.1099/jmmcr.0.005087>
24. Kukhtyn, M.D., Horiuk, Y.V., Salata, V.Z., Klymyk, V.T., Vorozhbit, N.M., & Rushchinskaya, T.M. (2021). *Staphylococcus aureus* of raw cow's milk. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 23(102), 53–59. <https://doi.org/10.32718/nvlvet10208>
25. Stroich, V.V., & Horiuk, Y.V. (2023). Identification of the skin microbiota of healthy dogs and those with pyoderma. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 25(110), 46–53. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11008>
26. Beco, L., Guaguère, E., Méndez, C. L., Noli, C., Nuttall, T., & Vroom, M. (2013). Suggested guidelines for using systemic antimicrobials in bacterial skin infections: part 2 – antimicrobial choice, treatment regimens and compliance. *Veterinary Record*, 172(6), 156–160. <https://doi.org/10.1136/vr.101070>
27. Summers, J. F., Hendricks, A., & Brodbelt, D.C. (2014). Prescribing practices of primary-care veterinary practitioners in dogs diagnosed with bacterial pyoderma. *BMC Veterinary Research*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s12917-014-0240-5>
28. Kozlovska, I.M., Romanjuk, N.Y., Romanjuk, L.M., Kukhtyn, M.D., Horiuk, Y.V., & Karpyk, G.V. (2017). The effect of antimicrobial agents on planktonic and biofilm forms of bacteria that are isolated from chronic anal fissures. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 8(4), 577–582. <https://doi.org/10.15421/021789>
29. Summers, J.F., Brodbelt, D.C., Forsythe, P.J., Loeffler, A., & Hendricks, A. (2012). The effectiveness of systemic antimicrobial treatment in canine superficial and deep pyoderma: a systematic review. *Veterinary Dermatology*, 23(4), 305–e61. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3164.2012.01050.x>
30. Drake, D.R., Brogden, K.A., Dawson, D.V., & Wertz, P.W. (2007). Thematic Review Series: Skin Lipids. Antimicrobial lipids at the skin surface. *Journal of Lipid Research*, 49(1), 4–11. <https://doi.org/10.1194/jlr.r700016-jlr200>

НОТАТКИ

Науково-практичне видання

Scientific-practical edition

**ПОДІЛЬСЬКИЙ ВІСНИК:
сільське господарство,
техніка, економіка**

**PODILIAN BULLETIN:
agriculture, engineering,
economics**

Міжнародний науковий журнал

International scientific journal

Випуск 4(41) 2023

Issue 4(41) 2023

Адреса редакції:

вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський
Хмельницької області, 32316
тел. (03849) 2-43-55; 6-83-24;
e-mail: main@pdatu.edu.ua

Editorial Office:

13, Shevchenko St., Kamianets-Podilskyi,
Ukraine, 32316
tel. (03849) 2-43-55; 6-83-24;
e-mail: main@pdatu.edu.ua

Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел.: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Publishing House "Helvetica"
6/1 Inglezi, Odessa, 65101
Phone +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Certificate of the subject of publishing business
DK No. 7623 dated June 22, 2022