

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 (45)



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

ПОДІЛЬСЬКИЙ ВІСНИК: СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО, ТЕХНІКА, ЕКОНОМІКА

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ, ТЕХНІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ І ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

Заснований у 2005 р.

Випуск 4 (45)
<https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-4>
Виходить чотири рази 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 – д-р с.-г. наук, професор, Варшавський університет наук про життя – SGGW (Польща),

Павло Носаль – д-р с.-г. наук, професор, Аграрний університет ім. Гугона 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 – канд. техн. наук, професор, Університет сільського господарства в Кракові (Польща),

Кшиштоф Мудрик – канд. техн. наук, професор, Аграрний університет ім. Гугона Коллонтай у Кракові (Польща),

Мацей Тадеуш Кубонь – канд. техн. наук, професор, Аграрний університет ім. Гугона Коллонтай у Кракові (Польща),

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

Славомір Курпаска – канд. техн. наук, професор, Аграрний університет ім. Гугона Коллонтай у Кракові (Польща),

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

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

Гордєєв А.І. – д-р тех. наук, професор, заслужений винахідник України, Хмельницький національний університет (Україна),

Диха О.В. – д-р тех. наук, професор, Хмельницький національний університет (Україна),

Борак К.В. – д-р тех. наук, доцент, Житомирський агротехнічний фаховий коледж (Україна)

економічні науки:

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

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

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

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

Чеслав Новак – Dr hab inż., професор, Університет прикладних наук в Тарнові (Польща),

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),

Кучерук М. – д-р вет. наук, доцент, 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),

Сачук Р. – д-р вет. наук, старший дослідник, Рівненський державний гуманітарний університет (Україна)

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

Схвалено Вченою радою ЗВО «ПДУ» (протокол № 10 від 28.11.2024 р.)

Підписано до друку 29.11.2024 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 – Агронія, 204 – Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва), технічних (133 – Галузеве машинобудування, 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», 2024

© Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка, 2024

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 (45)



“Helvetica”
Publishing House
2024

PODILIAN BULLETIN: AGRICULTURE, ENGINEERING, ECONOMICS

AGRICULTURAL, TECHNICAL, ECONOMIC AND VETERINARY SCIENCES

Founded in 2005

Issue 4 (45)

<https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-4>
Periodicity: 4 times a year

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:

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

Edyta Juszcuk-Kubiak – Dr. Sc. in Agriculture, Prof., Warsaw University of Life Sciences – SGGW (Poland)

Pavlo Nosal – Dr. Sc. in Agriculture, Prof., University of Agriculture in Krakow (Poland)

Chynchyk 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., Pro-rector of HEI «PSU» (Ukraine)

Technical sciences:

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

Mykhailova L.M. – Candidate of Technical Sciences, Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

Marek Vrabel – Candidate of Technical Sciences, Prof., University of Agriculture in Krakow (Poland)

Kshyshtof Mudryk – Candidate of Technical Sciences, Prof., University of Agriculture in Krakow (Poland)

Slavomir Kurpaska – Doctor of Technical Sciences, Prof., University of Agriculture in Krakow (Poland)

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

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

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

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

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

Economic sciences:

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

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

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

Cheslav Novak – Dr hab inż., Prof., University of Applied Sciences in Tarnow (Poland)

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

Chyurkova 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)

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

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

Sachuk R. – Doctor of Veterinary, Senior Researcher, Rivne State University of the Humanities (Ukraine)

Kucheruk M. – Doctor of Veterinary, Assoc. Prof., HEI «PSU» (Ukraine)

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

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

Recommended by Academic Council of HEI «PSU» (protocol № 10 from 28.11.2024)

Signed for printing on 29.11.2024.

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, 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.

© HEI «PSU», 2024

© Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics, 2024

ЗМІСТ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

Войтовик М. В., Баранник А. В., Гарбар В. В., Лісовський А. С. ПРАКТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ З ВПРОВАДЖЕННЯ ҐРУНТОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕРОБСТВА (НА ПРИКЛАДІ ТЕХНОЛОГІЇ NO-TILL).....	7
Кривохижа Є. М., Резніченко В. П., Кисельов О. М. СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КРИЗИ.....	16
Крук О. П. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ МАРМУРОВІСТЮ ЯЛОВИЧИНИ ТА ЇЇ ЯКІСНИМИ ОЗНАКАМИ У ПОМІСНИХ БУГАЙЦІВ ВІД УКРАЇНСЬКОЇ ЧОРНО-РЯБОЇ МОЛОЧНОЇ І ГОЛШТИНСЬКОЇ ПОРІД.....	28
Мулярчук О. І., Степанченко В. М., Козіна Т. В. СОРТОВІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЛИСТКОВОЇ ПОВЕРХНІ І ФОТОСИНТЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РОСЛИН ГОРОХУ ОВОЧЕВОГО	33
Овчарук В. І., Падалко Т. О. ВПЛИВ МІКРОДОБРИВ НА УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ВЕГЕТАТИВНОЇ МАСИ І КОРЕНЕВИЩА З КОРЕНЯМИ РОСЛИН ЕХІНАЦЕЇ ПУРПУРОВОЇ (<i>ECHINACEA PURPUREA (L.) MOENCH.</i>) В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ	39
Плотницька Н. М., Невмержицька О. М., Гурманчук О. В., Карпов О. В., Невідомський Р. В. ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ПРОТИ МІКОЗІВ КАРТОПЛІ	45
Попова О. П., Кулик М. І. ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЦУКРИСТІСТЬ БІОМАСИ СОРГО ЦУКРОВОГО	50
Тарасюк В. А., Безвіконний П. В., Потапський Ю. В. УДОСКОНАЛЕННЯ АГРОТЕХНІКИ ВИРОЩУВАННЯ НАГІДОК ЛІКАРСЬКИХ (<i>CALENDULA OFFICINALIS L.</i>) В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ	59

ЕКОНОМІКА

Печенюк А. В., Гарасимчук І. Д., Панцир Ю. І. ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ	66
Чорнобай Л. М., Корженівська Н. Л. РОЛЬ СІЛЬСЬКОГО ЗЕЛЕНОГО ТУРИЗМУ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КОМПЛЕКСНОГО РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ.....	73

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Осіпов М. Ю., Рудь А. В., Ляшко Ю.-Й. Б. ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ АГРОНОМІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ РОБОТОТЕХНІКИ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	78
Скрипник В. О., Пономаренко Б. Г. РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕТИКИ ВОЛОГОВМІСТУ І ТЕМПЕРАТУРИ В М'ЯСІ ЗА КОНДУКТИВНОГО СУШІННЯ ІЗ СТИСНЕННЯМ	85
Федірко П. П., Дуганець В. І., Бончик В. С. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ВІДНОВЛЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ БЕЗ ВИДАЛЕННЯ ПРОДУКТІВ КОРОЗІЇ.....	95
Філоненко С. Ф., Ларін В. Ю., Квашук Д. М. АНАЛІЗ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ПРЕЦЕЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ ВИМІРЮВАЛЬНОЮ РУКОЮ.....	102
Чалий О. В. АВТОМАТИЧНА КОРЕКЦІЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ НА КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ	108

ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

Ліщук С. Г., Ковальова О. М., Добровольський В. А. ГЕМАНГІОМИ ЯК ПОТЕНЦІЙНІ УСКЛАДНЕННЯ БАБЕЗІОЗУ: МОРФОГІСТОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ КЛІНІЧНИХ ВИПАДКІВ	114
--	-----

CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES

Voytovyk M. V., Barannyk A. V., Harbar V. V., Lisovskyi A. S. PRACTICAL MONITORING OF SOIL FERTILITY WITH THE IMPLEMENTATION OF SOIL-CONSERVING FARMING SYSTEMS (BASED ON NO-TILL TECHNOLOGY).....	7
Kryvokhyzha Ye. M., Reznichenko V. P., Kyselov O. M. RESOURCE MANAGEMENT STRATEGIES IN THE AGRICULTURAL SECTOR OF UKRAINE UNDER THE CONDITIONS OF THE ENERGY CRISIS	16
Kruk O. P. RELATIONSHIP BETWEEN MARBLING OF BEEF AND ITS QUALITY TRAITS IN CROSSBRED BULLS OF UKRAINIAN BLACK-AND-WHITE DAIRY AND HOLSTEIN BREEDS.....	28
Muliarchuk O. I., Stepanchenko V. M., Kozina T. V. VARIETAL FEATURES OF LEAF SURFACE FORMATION AND PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL OF VEGETABLE PEA PLANTS	33
Ovcharuk V. I., Padalko T. O. INFLUENCE OF OF MICROFERTILIZERS ON THE YIELD AND QUALITY OF VEGETATIVE MASS AND RHIZOMES WITH ROOTS OF <i>ECHINACEA PURPUREA (L.) MOENCH.</i> PLANTS IN THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE.....	39
Plotnytska N. M., Nevmerzhytska O. M., Gurmanchuk O. V., Karpov O. V., Nevidomskyi R. V. EFFECTIVENESS OF BIOLOGICAL PREPARATIONS AGAINST POTATO MYCOSIS	45
Popova O. P., Kulyk M. I. INFLUENCE OF THE CULTIVATION TECHNOLOGY ELEMENTS ON THE YIELD AND SUGAR CONTENT OF SUGAR SORGHUM BIOMASS	50
Tarasiuk V. A., Bezvikonnyy P. V., Potapsky Yu. V. IMPROVEMENT AGROTECHNICS OF GROWING <i>CALENDULA OFFICINALIS L.</i> IN THE WESTERN FOREST-STEPPE.....	59

ECONOMY

Pecheniuk A. V., Harasymchuk I. D., Pantsir Yu. I. PROSPECTS AND CHALLENGES OF RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN UKRAINE UNDER MARTIAL LAW CONDITIONS.....	66
Chornobay L. M., Korzhenivska N. L. THE ROLE OF RURAL GREEN TOURISM IN ENSURING THE COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF RURAL AREAS.....	73

TECHNICAL SCIENCES

Osipov M. Yu., Rud A. V., Liashko Yu.-Y. B. INNOVATIVE APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF AGRONOMIC PROCESSES USING ROBOTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE	78
Skrypnyk V. O., Ponomarenko B. G. RESULTS OF DETERMINING THE KINETICS OF MOISTURE CONTENT AND TEMPERATURE KINETICS IN MEAT DURING CONDUCTIVE DRYING WITH COMPRESSION	85
Fedirko P. P., Duganets V. I., Bonchuk V. S. TECHNOLOGY AND TECHNICAL MEANS OF RESTORATION OF PAINT COATINGS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT WITHOUT REMOVING CORROSION PRODUCTS	95
Filonenko S. F., Larin V. Yu., Kvashuk D. M. ANALYSIS OF MEASUREMENT ERRORS OF PRECISION PARTS USING A MEASURING ARM.....	102
Chalyi O. V. AUTOMATIC ERROR CORRECTION IN MEASUREMENTS ON COORDINATE MEASURING MACHINES..	108

VETERINARY SCIENCES

Lishchuk S. G., Kovalova O. M., Dobrovolsky V. A. HEMANGIOMAS AS POTENTIAL COMPLICATIONS OF BABESIOSIS: MORPHOHISTOLOGICAL ANALYSIS OF CLINICAL CASES	114
--	-----

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

УДК 631.582:631.43

Войтовик М. В.

*кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства, агрохімії та ґрунтознавства,
Білоцерківський національний аграрний університет*

Біла Церква, Україна

E-mail: zemlerobstvo_@ukr.net

ORCID: 0000-0002-6943-3213

Баранник А. В.

*кандидат географічних наук,
докторант кафедри всесвітньої історії,
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна*

E-mail: andruha.geograph@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7303-4816

Гарбар В. В.

*кандидат географічних наук,
старший викладач кафедри географії та методики її викладання,
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Кам'янець-Подільський, Україна*

E-mail: geofan@ukr.net

ORCID: 0000-0001-9400-7606

Лісовський А. С.

*кандидат географічних наук,
старший викладач кафедри географії та методики її викладання,
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Кам'янець-Подільський, Україна*

E-mail: lisovskyi@kptu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9674-5802

ПРАКТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ З ВПРОВАДЖЕННЯ ҐРУНТОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕРОБСТВА (НА ПРИКЛАДІ ТЕХНОЛОГІЇ NO-TILL)

Анотація

Однією з основних причин деградації сільськогосподарських угідь (перш за все ріллі) є полицевий, або класичний, обробіток ґрунту. Погіршення якості ґрунтів – це глобальна світова проблема. Саме тому аграрний сектор розвинутих країн рухається в напрямі освоєння ґрунтозберігаючих енергоощадних систем землеробства. Натомість затримка з впровадження ґрунтозберігаючих систем землеробства в Україні призведе до катастрофи через глобальну деградацію ґрунтів.

Енергоощадні ґрунтозберігаючі системи землеробства науково ще недостатньо вивчені, тож більшість агровиробників до кінця не розуміє їхню необхідність та економічну ефективність. Одним з ключових аспектів в цьому питанні є зміна властивостей ґрунтів унаслідок впровадження систем зберігаючого землеробства (No-Till, Strip-Till тощо), адже за доведення позитивної динаміки це може бути зайвим аргументом на користь переходу до таких технологій.

У статті проаналізовано переваги і недоліки кожної ґрунтозберігаючої технології, але особливий акцент зроблено на практичному моніторингу родючості через призму змін властивостей ґрунтів в результаті впровадження технології No-till.

Територія дослідження: Київська обл., Білоцерківський р-н., с. Блощинці, на базі господарства ТОВ «Мрія», в межах поля № 1. Ми прослідкували динаміку зміни властивостей ґрунту за тривалий період і в сталих межах, маючи за основу показники 2005 року (коли в межах господарства практикувався класичний обробіток ґрунту) і прослідкувати динаміку змін упродовж 13 років після впровадження технології No-till у 2007 році. Відбір проб і визначення властивостей ґрунтів проводилися за загальноприйнятими і затвердженими методиками досліджень.

Результатами дослідження встановлено, що агрофізичні показники, як-от щільність будови ґрунту, не зазнали змін упродовж років. Агрохімічні показники, як найбільш мінливі в часі, зазнали більших змін, особливо показник вмісту гумусу, що за звітний період показав приріст на 1,4%. Зберігається позитивна динаміка росту показника легкогидролізованого Азоту, що корелює зі збільшенням вмісту гумусу. Використання рідких фосфорних стартових добрив під час посіву покращило динаміку за запасами рухомого Фосфору, натомість показники рухомого Калію мають тенденцію до зниження. Ступінь забезпечення ґрунту мікроелементами залишається на високому рівні. Простежується чітка тенденція до збільшення вмісту Бору з одночасним зменшенням вмісту інших мікроелементів, що є закономірним явищем, адже пожнивні рештки за технології No-till є найважливішим джерелом повернення мікроелементів у ґрунт. Негативного пестицидного навантаження на ґрунт не спостерігається згідно з отриманими даними.

Ключові слова: родючість ґрунту, технологія No-till, агрофізичні властивості ґрунтів, агрохімічні властивості ґрунтів, вміст гумусу, вміст Азоту, секвестрація CO₂.

Вступ. За оцінками експертів, діяльність людини щорічно призводить до втрати 26 млрд тон верхнього родючого шару ґрунту, що у 2,6 рази перевищує рівень природної деградації. Щорічний збиток, що завдає ерозія, вимірюється сотнями мільярдів доларів США, а у світі щорічно деградує понад 6 млн га земель сільськогосподарського призначення [4, с. 15].

Сьогодні в Україні земель, які зазнали впливу водної ерозії, – 13,3 млн га, зокрема 10,6 млн га ріллі. Вітровій ерозії піддаються понад 6 млн га, а 68 тис. га повністю втратили гумусовий горизонт. За останні 20 років вміст гумусу в орному шарі зменшився на 0,22% (усереднений показник), а в абсолютних середніх величинах: з 3,36% до 3,14% [4, с. 14].

Однією з основних причин деградації сільськогосподарських угідь (перш за все ріллі) є полицевий, або класичний, обробіток ґрунту. Погіршення якості ґрунтів – це глобальна світова проблема. Саме тому аграрний сектор розвинутих країн рухається в напрямі освоєння ґрунтозберігаючих енергоощадних систем землеробства. Натомість затримка з впровадження ґрунтозберігаючих систем землеробства в Україні призведе до катастрофи через глобальну деградацію ґрунтів.

У науковому світі достатньо публікацій щодо особливостей ведення ґрунтозберігаючих систем землеробства та їхнього впливу на відновлення і покращення родючості ґрунтів. Але з 50-х років минулого століття основний акцент робився саме на нюансах з впровадження технології No-till (гербіцидний захист, прямиї посів) [10]. Надалі значний вклад у розроблення теоретичних основ зробили американські вчені С. Бейкер та К. Секстон, що акцентували увагу на позитивних моментах у відновленні родючості і покращенні властивостей ґрунтів після впровадження технології No-till [10]. Разом з позитивними моментами часто описують і негативні аспекти, що виникають унаслідок впровадження ґрунтозберігаючих систем землеробства [3; 6].

Зазвичай особлива увага приділяється агрономічній (показники урожайності, сівозмінна, система захисту) або агротехнічній складовій частині (обладнання, обробіток), недостатньо описуючи саме вплив ґрунтозберігаючих систем на властивості ґрунту [2; 5; 7]. Варто звернути увагу на дослідження вітчизняних науковців, наприклад протидефляційну ефективність системи землеробства No-till в умовах посушливого клімату описав проф. С.Г. Чорний [8], а зміну агрофізичних показників ґрунту унаслідок впровадження системи No-till детально описав М.В. Войтовик [1]. Окрім цього, в зарубіжній науковій літературі є багато праць, що підтверджують позитивний вплив системи No-till на відновлення родючості ґрунтів [12], а також економічні переваги цієї технології [9; 11].

Мета роботи. Актуальність дослідження полягає в тому, що енергоощадні ґрунтозберігаючі системи землеробства науково ще недостатньо вивчені, тож більшість агровиробників до кінця не розуміє їхню необхідність та економічну ефективність. Одним з ключових аспектів у цьому питанні є моніторинг родючості через парадигму зміни властивостей ґрунтів унаслідок впровадження систем зберігаючого землеробства (No-Till, Strip-Till тощо), адже за доведення позитивної динаміки це може бути зайвим аргументом на користь переходу до таких технологій.

Об'єкт вивчення – зміна властивостей ґрунту (чорнозем типовий легко- і середньосуглинковий) унаслідок впровадження технології No-till впродовж тривалого періоду: з 2005 по 2020 роки.

Територія дослідження: Київська обл., Білоцерківський р-н., с. Блощинці, на базі господарства ТОВ «Мрія», в межах поля № 1 (згідно з внутрішньою класифікацією підприємства), площа поля становить 104,6 га.

Оскільки технологія No-till є вершиною серед усіх технологій ощадливого землеробства, дослідити її вплив на зміну, а точніше, відновлення ґрунтів найцікавіше. Отримані нами результати ґрунтових досліджень

проводилися Київським ОДПТЦ охорони родючості ґрунтів і якості продукції в межах паспортизації земель сільськогосподарського призначення з 2005 року по 2020 рік. Господарство впровадило технологію No-till з 2007 року, відповідно, ми можемо прослідкувати динаміку зміни властивостей ґрунту за тривалий період і в сталих межах на прикладі одного поля, маючи за основу показники 2005 року (коли в межах господарства практикувався класичний обробіток ґрунту), і відобразити зміни за 13 років після впровадження технології No-till.

Відбір проб здійснювався за ДСТУ 4287:2004 кожного звітного року (2005, 2010, 2020) після збору врожаю: поле розбивалося на приблизно рівні ділянки площею 10 га (достатня площа, враховуючи малу строкатість рельєфу і однорідність ґрунтового покриву). З однієї такої ділянки ґрунтовым буром, методом конверта, відбиралися 20 одиночних (точкових) проб масою 100–150 г на глибину 15 см (достатньо для технології No-till).

Використовуючи загальноприйняті методи дослідження, було визначено щільність ґрунту (Йовенко); рН сольовий (ДСТУ ISO 10390-2007); суму ввібраних основ (ГОСТ 26487-85); вміст гумусу (ДСТУ 4289:2004); Азот, що легко гідролізується (ДСТУ 7863:2015); рухомі сполуки Фосфору і Калію (ДСТУ 4115-2002); рухомі форми Бору (ОСТ 10150-88), Марганцю (ДСТУ 4770.1:2007), Міді (ДСТУ 4770.5:2007), Цинку (ДСТУ 4770.2:2007); залишки пестицидів (Хроматографія).

Виклад основного матеріалу дослідження. Система землеробства – це комплекс взаємозалежних агротехнічних, меліоративних та організаційних заходів, спрямованих на ефективне використання землі та інших ресурсів, збереження та підвищення родючості ґрунту, одержання високих і стійких урожаїв сільськогосподарських культур. Розмаїття ґрунтово-кліматичних умов унеможливорює створення єдиної та універсальної системи землеробства, але всі наявні розроблені сучасні системи базуються на принципах «системи сталого ощадного землеробства»: у сучасному землеробстві обробіток ґрунту повинен бути мінімальним; рослинні рештки мають вкривати поверхню; у сівозміні повинні бути присутні покривні культури, а раціональна сівозміна – основа підтримки біорізноманіття [6].

На цьому етапі розвитку сільського господарства механічний обробіток ґрунту є основним чинником його деградації, відповідно, всі технології вирощування сільськогосподарських культур сьогодні класифікуються за рівнем механічного впливу на нього.

Технологія Mini-till. Заснована на парадигмі, що відмови від полицевого обробітку, заміни його дискуванням чи плоскорізними знаряддями на глибину від 6 до 16 см достатньо для відтворення природного процесу ґрунотворення, збереження і підвищення родючості ґрунту за можливості одночасного застосування всіх ресурсів інтенсифікації землеробства для отримання високих врожаїв. За такої технології рівень покриття ґрунту рослинними рештками становить до 30%, адже органічні і мінеральні добрива зароблюються у верхній шар дисковими знаряддями [6, с. 25–26].

Таблиця 1. Особливості технології Mini-till

Переваги	Недоліки
<ol style="list-style-type: none"> 1) Зменшення витрат паливно-мастильних матеріалів. 2) Зменшення затрат фізичної праці. 3) Зменшення втрат ґрунтової вологи. 4) Підвищення вмісту органічної речовини в ґрунті. 5) Підвищення мікробіологічної активності ґрунтової біоти. 6) Прискорений розклад органічної речовини в ґрунті. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Погіршення структури верхнього шару ґрунту внаслідок інтенсивного поверхневого обробітку. 2) Формування плужної підшви на глибині 10–14 см. 3) Низька ефективність контролю багаторічних бур'янів механічними заходами. 4) Недостатній контроль водної ерозії на схилах. 5) Підходить не для всіх типів ґрунтів.

Надалі розвиток цієї технології пов'язаний з використанням нових знарядь поверхневого обробітку ґрунту – культиватора вертикального обробітку (Verti-till), що частково або повністю нівелює недоліки технології загалом.

Технологія Strip-till. Заснована на припущенні, що усі проблемні моменти технології No-till можна вирішити шляхом усунення рослинних решток у міжряддя і життя заходів безполицевого обробітку ґрунту в зоні рядка. 2/3 площі залишається в непорушеному стані, зберігаючи всі процеси природного ґрунотворення, а на 1/3 площі є можливість застосовувати всі ресурси інтенсифікації за правилами традиційного землеробства для отримання високих врожаїв. Усі принципи сталого ощадного землеробства реалізуються на 2/3 площі [6, с. 32].

Таблиця 2. Особливості технології Strip-till

Переваги	Недоліки
<ol style="list-style-type: none"> 1) Підвищення ефективності використання добрив рослинами. 2) Зменшення втрат Азоту з добрив на фізичне випаровування. 3) Збільшення надходження повітря до насіння. 4) Прискорене прогрівання ґрунту. 5) Відсутність підвищених вимог до якості посівного матеріалу. 6) Уникнення токсичної дії продуктів розкладання рослинних решток на проростання насіння сільськогосподарських культур. 7) Покращення дружності проростання насіння і поява сходів. 8) Уникнення сольового отруєння рослин на ранніх стадіях розвитку від близького розташування міңдобрив. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Погіршення структури верхнього шару ґрунту в зоні обробленої смуги. 2) Можливість утворення ґрунтової кірки в зоні обробленої смуги. 3) Формування на полі смуг з різним рівнем ефективної родючості для наступної культури сусідньої сівби. 4) Різний рівень розвитку і часового прояву бур'янів у агрофітоценозах. 5) Недостатній контроль водної ерозії на схилах. 6) Зростання витрат. 7) Впровадження Strip-till потребує хорошого рівня GPS-навігації.

Технологія No-till. Система землеробства No-till – одне з останніх наукових надбань у тренді розвитку систем землеробства та технології вирощування. Заснована на припущенні, що лише повна відмова від механічного обробітку ґрунту за наявності вкритої рослинним матеріалом поверхні ґрунту і підтримання максимального біорізноманіття в агрокосистемі забезпечує оптимальні умови для реалізації природного процесу ґрунтотворення та збереження і розширеного відтворення його родючості – основи високої продуктивності рослин. У цій технології повною мірою реалізовані всі принципи сталого ощадного землеробства [6, с. 28–30].

Таблиця 3. Особливості технології No-till

Переваги	Недоліки
1) Збереження і поновлення агрономічно-цінної структури ґрунту. 2) Підвищення інфільтрації води. 3) Збільшення поглинання і накопичення вологи в ґрунті. 4) Ефективний захист ґрунтів від водної та вітрової ерозії. 5) Підвищення вмісту в ґрунті органічної речовини та гумусу. 6) Секвестрація CO ₂ . 7) Збагачення ґрунтів мікро- і мезофауною, зокрема дощовими черв'яками. 8) Зменшення витрат ПММ і викидів CO ₂ від їх спалювання. 9) Скорочення трудових затрат. 10) Зменшення потреби в людських ресурсах. 11) Підвищення продуктивності праці. 12) Зниження забруднення рівня ґрунтових вод і водоєм пестицидами та агрохімікатами.	1) За наявності на поверхні ґрунту післяжнивних решток спостерігається зниження температури ґрунту навесні на глибині заробки насіння на 3–5°C, що призводить до затримки сівби та відставання культур на перших етапах органогенезу. 2) Можливість перезволоження орного шару на ґрунтах, що слабо дреноються. 3) Можливість зниження польової схожості насіння внаслідок потрапляння в посівний шар післяжнивних решток. 4) Збільшення рівня забур'яненості посівів у перші роки запровадження технології. 5) Погіршується дія ґрунтових гербіцидів за технології No-till. 6) Виникає ризик появи резистентних бур'янів до гліфосатів та зростає проблема з гризунами. 7) Наявність на поверхні рослинних решток підвищує ризик погіршення фітосанітарної ситуації на полі. 8) За поверхневого застосування азотних добрив є ризик їх значної втрати – до 1/3. 9) Може спостерігатися явище сезонної цементації на ґрунтах важкого гранулометричного складу. 10) Висока ціна основних технічних засобів.

Проведемо практичний моніторинг родючості ґрунтів на досліджуваній території через призму зміни властивостей ґрунтів з впровадженням технології No-till упродовж 13 років (з 2007 по 2020 роки).

Агрофізичні показники. Щільність будови є однією з найважливіших фізичних характеристик ґрунтів, що зумовлює їхні водний, повітряний і тепловий режими. Результатами дослідження встановлено, що за період з 2005 по 2020 роки показники щільності будови ґрунту не змінилися і залишилися в діапазоні 1,18 г/см³, що є закономірним, адже фізичні властивості ґрунтів визначаються перш за все особливостями генези та речовинним складом. Оскільки щільність будови кількісно характеризує ступінь ущільнення ґрунту, відсутність зміни показника свідчить про відсутність додаткового ущільнення верхніх горизонтів унаслідок ведення технології No-till.

Агрохімічні показники. Реакція ґрунтового розчину залежить насамперед від хімічного, мінералогічного складу, режиму зволоження ґрунту, кількісного та якісного складу органічної речовини, життєдіяльності організмів, агрогенного навантаження тощо.

Таблиця 4. Динаміка агрохімічних показників ґрунту внаслідок запровадження технології No-till

Рік	pH _{KCl} , од.	Гідролітична кислотність, мг-екв/100 г ґрунту	Сума ввібраних основ, мг-екв/100 г ґрунту	Вміст гумусу, %
2005	6,50	–	17,80	2,70
2010	6,70	–	21,35	3,70
2020	5,81	1,94	19,30	4,10

Обмінна кислотність належить до лабільних показників, зміну яких можна прослідкувати навіть в межах доби. Саме тому варіабельність показників pH_{KCl} від 5,81 до 6,70 од., що за шкалою оцінки кисло-основних властивостей ґрунтів належить до «близька до нейтральної – слаболужна», є незначним коливанням, що могло бути спричинене більше суб'єктивними факторами під час відбору зразків (час відбору, пора року, попередник, система живлення).

Гідролітична кислотність проявляється під час дії на ґрунт розчину гідролітично лужної солі сильної основи і слабкої кислоти, коли відбувається більш повне витіснення ввібраного Гідрогену та інших кислотних іонів. За показниками гідролітичної кислотності <2 мг-екв/100 г ґрунту ступінь кислотності є «дуже низьким». Це є типовим показником для досліджуваного типу ґрунтів – чорнозему типового.

Вбирна здатність ґрунту – одна з найважливіших властивостей, що зумовлює його родючість і характер процесів ґрунтоутворення. Вона забезпечує і регулює поживний режим ґрунту, сприяє накопиченню багатьох елементів мінерального живлення рослин, регулює реакцію ґрунтового середовища та водно-фізичні властивості ґрунту. У чорноземах до складу вбирного комплексу входять переважно Ca²⁺ і Mg²⁺, що обумовлює близьку до нейтральної реакцію ґрунтового розчину, колоїди перебувають у стані стійких гелів, які не піддаються пептизації

за надлишку вологи, ґрунти добре гумусовані і оструктурені, характеризуються сприятливими фізичними властивостями. За шкалою оцінки ґрунтів за сумою ввібраних основ ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) показники 17,80–21,35 мг-екв/100 г ґрунту відповідають «підвищеному та високому рівню». Динаміка зміни наразі не простежується, а залишається характерним показником для чорноземів типових.

Органічна речовина і процеси її трансформації відіграють значну роль у формуванні ґрунту, його основних властивостей і ознак. Усі важливі ґрунтові процеси відбуваються за прямої чи опосередкованої участі органічних речовин [4]. Гумусові речовини становлять 85–90% від маси органічних речовин ґрунту. За твердженням І. С. Кауричева, гумус – це суміш специфічних, різних за складом і властивостями високомолекулярних азотовмісних органічних сполук, об'єднаних спільністю походження, деяких властивостей і рис будови. Джерелами гумусу можна вважати всі компоненти біоценозу, які потрапляють на поверхню ґрунту або у товщу ґрунтового профілю. Потрапляючи на ґрунт і в ґрунтову товщу, органічні рештки під впливом ґрунтової мікрофауни і мікрофлори, частково хімічних та фізико-хімічних процесів зазнають складних біохімічних перетворень. Органічні рештки не всі розкладаються до простих мінеральних речовин. Частина з них проходить складний шлях біохімічних змін – гуміфікацію.

Потенційним джерелом органічної частини ґрунту є всі компоненти біоценозу, але основним є саме зелені рослини. Звідси випливає наслідок, що чим довше на полі наявні зелені рослини, тим більше ресурсу для формування і накопичення гумусу.

Основним шляхом збільшення вмісту гумусу в традиційній системі землеробства вважається застосування органічних добрив, а за відмови від механічного обробітку ґрунту в ошадливих системах землеробства (No-till та Strip-till) – рослинні рештки та вирощування покривних культур. Варто зауважити, що різні частини зелених рослин неоднаково беруть участь у накопиченні гумусу. Так за даними А. Дона, з 1 т коренів утворюється 0,25 т гумусу, тоді як з 1 т надземної маси – 0,1 т гумусу [6, с. 76].

Усі ці фактори сприяли тому, що за переходу від традиційної системи землеробства до технології No-till показник вмісту гумусу суттєво виріс: з 2,7% до 4,1%. Динаміка приросту теж різнилася: за перші роки (з 2005 по 2010 роки) прирост склав 1%, тоді як з 2010 по 2020 роки – 0,4%. З наведених даних формується закономірний висновок, що відмова від механічного обробітку ґрунту і залишення всієї побічної продукції на поверхні ґрунту відповідає природним закономірностям гумусоутворення. Окрім того, відмова від полицевого обробітку змінила перебіг інтенсивності як хімічних, так і мікробіологічних процесів у ґрунті: зменшилося надходження кисню у ґрунтові горизонти, що послабило процеси окислення та розкладу органічної речовини.

Додатковий аналіз ґрунту на полях ТОВ «Мрія» показав, що за 10 років (з 2010 по 2020 роки) постійного застосування технології No-till кількість гумусу зросла і суттєво вирівнялася на полях. Щорічний приріст гумусу мав такі показники: поле № 1 – 1,4%, поле № 2 – 1,44%, поле № 3 – 1,08% за мінімально необхідної норми 0,4% [6, с. 83]. Розрахунки, проведені іноземними вченими, показують, що глобальні антропогенні викиди CO_2 відповідають 0,4% глобальних запасів вуглецю в ґрунтах. Тому можна вважати, що середній річний приріст гумусу в 0,4% забезпечить нульовий баланс, тож його можна визнати як мінімальну норму [6, с. 84].

Варто виділити ще один важливий позитивний аспект, що опосередковано відбувається за збільшення вмісту гумусу, – секвестрація та депонування вуглецю в ґрунті. Секвестрація – це поглинання CO_2 з атмосфери рослинами (перехід вуглецю з газоподібного стану в органічний), а депонування – процес накопичення і фіксації його в ґрунті. Консервація CO_2 , окрім позитивного впливу на ріст і розвиток рослин за рахунок збільшення доступності поживних речовин, зокрема Азоту та Фосфору, підвищення стійкості до абіотичного стресу, такого як посуха, спека та кислотність ґрунту, може мати ще й пряму фінансову вигоду. Вуглець, законсервований у ґрунті, можна продати на вуглецевих ринках, які зараз активно розвиваються. Так, фермер, окрім здорового ґрунту з підвищеною родючістю, може отримати додатковий дохід. У Європі за підвищення вмісту гумусу з 2,5% до 2,8% (зниження викидів CO_2 в розмірі 10 т/га) винагорода становить 300 €/га, або 30 €/га за 1 т CO_2 , у США (Каліфорнія) – 18 \$/га, у Мексиці та Казахстані – 1\$/га, у Швеції – 139 \$/га за тонну [6, с. 331–332]. Отже, секвестрація вуглецю – це не лише шлях захисту довкілля, але й можливість підвищення вмісту гумусу для землеробства – основного показника родючості та ймовірне джерело додаткового доходу, що можливе за рахунок впровадження ґрунтозахисних технологій.

Закономірною є тенденція збільшення запасів Азоту зі 137 мг/кг до 189 мг/кг ґрунту, що, за Корнфілдом, відповідає покращенню ступеня забезпеченості з «низького» до «середнього». Оскільки органічна речовина

Таблиця 5. Динаміка зміни показників запасів елементів живлення унаслідок запровадження технології No-till

Рік	Легкогідролізований Азот, мг/кг ґрунту	Рухомі сполуки Фосфору, мг/кг ґрунту	Рухомі сполуки Калію, мг/кг ґрунту	Рухомі форми Бору, мг/кг ґрунту	Рухомі форми Цинку, мг/кг ґрунту	Рухомі форми Марганцю, мг/кг ґрунту	Рухомі форми Міді, мг/кг ґрунту
2005	137,00	136,00	145,00	1,00	2,60	41,00	5,00
2010	176,40	91,38	131,50	1,15	5,25	48,50	4,45
2020	189,00	151,90	102,10	1,71	0,88	24,22	0,14

є джерелом азотного живлення рослин і важливим агентом трансформації Азоту, вміст органічної речовини опосередковано визначає вміст Азоту в ґрунті. Зі збільшенням вмісту загального гумусу зростає вміст Азоту: динаміка приросту складала 52 мг/кг ґрунту.

Вміст рухомого Фосфору закономірно зазнав суттєвого спаду після впровадження технології No-till в перші роки: показник зменшився на 44,62 мг/кг ґрунту, а ступінь забезпечення, за Чиріковим, погіршився з «підвищеного» на «середній». Але в подальшому, за стабілізації системи удобрення (використання рідких стартових добрив з акцентом на Фосфор під час посіву) і сівозміни показник покращився до 151,9 мг/кг ґрунту – «високого» ступеня забезпечення.

Показники рухомого Калію мають чітку тенденцію до зниження: зі 145 мг/кг до 102,1 мг/кг ґрунту; ступінь забезпечення знизився з «високого» на «підвищений». Це закономірно, адже за технології No-till немає можливості вносити значні об'єми мінеральних добрив, а робиться акцент перш за все на стартові фосфорні формуляції.

Загалом вміст мікроелементів можна оцінити як «високий» (Бор, Цинк, Марганець) та «середній» (Мідь). Простежується чітка закономірність, що за звітний період вміст Бору збільшився з 1,0 до 1,71 мг/кг ґрунту, а вміст інших мікроелементів несуттєво знижується. За відсутності органічних добрив та зменшення норми використання мінеральних добрив з високими концентраціями мікроелементів поживні рештки та сидерати залишаються чи не єдиним джерелом надходження мікроелементів у ґрунт. Певна варіативність показників може корелювати із сівозміною на момент відбору зразків, адже різні групи культур виносять різну кількість мікроелементів. Можливі прояви дефіциту мікроелементів в культурі можна частково нівелювати за рахунок мікродобрив: обробки насіннєвого матеріалу та позакорневих підживлень.

Таблиця 6. Динаміка зміни показника залишків пестицидів унаслідок запровадження технології No-till

Рік	Дихлордифенилтрихлоретан і його метаболіти, мг/кг ґрунту	Гексахлоран (сума ізомерів), мг/кг ґрунту
2005	0,0068	0,00019
2010	0,0030	0,00620
2020	0,0018	0,00160

Зміна системи ведення землеробства до безполіцевого обробітку неодмінно призводить до зміни в системі захисту, особливо в перші роки. Суттєво зростає як гербіцидне навантаження, так і інсектецидне чи фунгіцидне, адже поживні рештки на поверхні ґрунту є осередком для перезимівлі шкідників і поширення хвороб. Якісна система захисту в перші роки потребує особливої уваги за рахунок використання більших концентрацій діючих речовин чи заміни їх на більш сильні форми.

Є незначне збільшення вмісту в ґрунті ізомерів гексахлорану з 2005 по 2010 роки (господарство почало використовувати технології No-till з 2007 року), а саме з 0,00019 мг/кг ґрунту до 0,0062 мг/кг ґрунту. Подальша нормалізація системи захисту та використання інших діючих речовин призвели до зменшення показника, що перевищує початковий рівень лише у 8 разів.

Позитивним моментом є те, що протягом років зменшується концентрація ДДТ і його метаболітів в ґрунті (з 0,0068 до 0,0018 мг/кг ґрунту), що пов'язано з відмовою від цієї діючої речовини в господарстві (ще з початку 1990-х років) і переходом на інші форми. За дослідженнями Дамена і Хейса, концентрація ДДТ збільшується в 10 разів в кожній ланці харчового ланцюга: ґрунт – 1х; рослина – 10х; мікроорганізми – 100х; вищі організми – 1000х [10].

Висновки. На сучасному етапі будь-яка система землеробства має бути спрямована на мінімізацію втрат поживних речовин з ґрунту та максимізацію їх внутрішньої циркуляції, а також збереження ґрунтового покриву загалом. Задля зменшення ерозійних процесів, накопичення вологи, що є дуже актуальним в мінливих умовах сьогодення, та відновлення природної родючості ґрунтів аграрії все більше починають впроваджувати ощадливі системи землеробства (No-till, Strip-till тощо). Глибокий аналіз позитивних змін властивостей ґрунту унаслідок впровадження технології No-till може бути зайвим аспектом на користь цього підходу.

Результатами дослідження встановлено, що агрофізичні показники, як-от щільність будови ґрунту, не зазнали змін упродовж років. Але це є також і перевагою, адже не відбулося їх погіршення, що могло трапитися в класичній системі обробітку.

Агрохімічні показники, як найбільш мінливі в часі, зазнали більших змін, особливо показник вмісту гумусу, що за звітний період показав приріст на 1,4%. Відмова від поліцевого обробітку та залишення поживних решток на поверхні ґрунту максимально наблизили агроландшафт до природних умов ґрунтоутворення, що є найбільшою перевагою цієї системи обробітку ґрунту. Окрім позитивного впливу на властивості ґрунту (покращення структури, збільшення біорізноманіття, відновлення родючості тощо), збільшення вмісту гумусу свідчить про позитивну динаміку секвестрації CO₂.

Зберігається позитивна динаміка росту показника легкогідролізованого Азоту, що корелює зі збільшенням вмісту гумусу. Використання рідких фосфорних стартових добрив під час посіву покращило динаміку за запасами рухомого Фосфору, натомість показники рухомого Калію мають тенденцію до зниження. Ступінь забезпечення ґрунту мікроелементами залишається на високому рівні. Простежується чітка тенденція до збільшення вмісту Бору з одночасним незначним зменшенням вмісту інших мікроелементів, що є закономірним явищем, адже поживні рештки за технології No-till є найважливішим джерелом повернення мікроелементів в ґрунт. Зниження

вмісту певних елементів живлення не є недоліком цієї системи обробітку, адже легко вирішується за рахунок коригування системи живлення (основне, припосівне внесення, підживлення по вегетації).

Концентрація шкідливих залишків пестицидів в ґрунті показала різну динаміку. ДДТ і його метаболіти мають чітку тенденцію до зниження концентрації за звітний період майже у 4 рази. Сума ізомерів гексахлорану показала незначний приріст в перші роки після впровадження технології No-till з подальшим зменшенням концентрації практично до початкового рівня.

Ощадливі системи землеробства No-till та Strip-till – це не просто нові технології, а інша філософія ведення господарства. Незважаючи на негативні моменти, користь яку вони можуть принести, є більшою.

Список використаних джерел

1. Войтовик М.В., Панченко О.Б., Примак І.Д., Цюк О.А. Порівняльна оцінка агрофізичних властивостей за різних технологій обробітку ґрунту в сівозміні. *Агрономія*. 2023. № 6/106.
2. Сщенко В.О. No-till технологія: її сьогодення та майбутнє. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2013. Вип. 1–2. С. 4–9.
3. Ляченко В.Ю., Пономаренко Н.О., Пономаренко Н.Г., Бутенко Д.М. Переваги та недоліки No-till системи. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2013. Вип. 43. Ч. II. С. 101–108.
4. Косолап М.П. Система зберігаючого землеробства: No-till і Strip-till: навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2023, 377 с.
5. Косолап М.П., Кротінов О.П. Система землеробства No-till. Київ: Логос, 2011, 350 с.
6. Мумінджанов Х.А., Косолап М.П., Биков М.І. Ґрунтозахисне та ресурсоощадне землеробство в Україні: навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2023, 120 с.
7. Сайко В.Ф., Малієнко А.М. Мінімальний та нульовий обробітку ґрунту, стан і перспективи їх запровадження в Україні. *Посібник українського хлібороба. Науково-виробничий щорічник*. 2009. С. 178–188.
8. Чорний С.Г., Видинівська О.В., Волошенюк А.В. Протидефляційна ефективність системи землеробства No-till в умовах південного степу України. *Біологічні системи*. 2012. Вип. 1. Т. 4. С. 116–119.
9. Al-Kaisi M.M., Archontoulis S.V., Kwaw-Mensah D., Miguez F. Tillage and Crop Rotation Effects on Corn Agronomic Response and Economic Return at Seven Iowa Locations. *Agronomy Journal*. 2015. Vol. 107. Iss. 4. P. 1958–1968.
10. Baker C.J., Ritchie R. Saxton K.E. The nature of risk in No-tillage. No-tillage seeding in conservation agriculture (2nd Edition). Rome: FAO – CABI Publication, 2007, 203 p.
11. Che Y., Rejesus R.M., Cavigelli M.A. and others. Long-term economic impacts of no-till adoption. *Soil Security*. 2023. Vol. 13. P. 1–13.
12. Thomas G.A., Dalal R.C., Standley J. No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 94. Iss. 2. P. 295–304.

Voytovyk M. V.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Agriculture, Agrochemistry and Soil Science,
Bila Tserkva National Agrarian University
Bila Tserkva, Ukraine
E-mail: zemlerobstvo_@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6943-3213*

Barannyk A. V.

*Candidate of Geographical Sciences,
Doctoral Student at the Department of World History,
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
E-mail: andruha.geograph@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7303-4816*

Harbar V. V.

*Candidate of Geographical Sciences,
Assistant Professor at the Department of Geography and Teaching Methodology,
Kamianets-Podilskyi Ivan Ohienko National University
Kamianets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: geofan@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9400-7606*

Lisovskyi A. S.

*Candidate of Geographical Sciences,
Assistant Professor at the Department of Geography and Teaching Methodology,
Kamianets-Podilskyi Ivan Ohienko National University
Kamianets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: lisovskyi@kpnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9674-5802*

PRACTICAL MONITORING OF SOIL FERTILITY WITH THE IMPLEMENTATION OF SOIL-CONSERVING FARMING SYSTEMS (BASED ON NO-TILL TECHNOLOGY)

Abstract

One of the main causes of agricultural land degradation (primarily arable land) is plowing, or conventional tillage. The degradation of soil quality is a global problem. That is why the agricultural sector in developed countries is moving towards the adoption of soil conservation and energy-saving farming systems. Conversely, a delay in the implementation of soil conservation farming systems in Ukraine will lead to a catastrophe due to the global degradation of soils. Energy-saving soil conservation farming systems are not yet fully studied from a scientific perspective, and therefore most agricultural producers do not fully understand their necessity and economic efficiency. One of the key aspects in this regard is the change of soil properties as a result of the implementation of conservation farming systems (No-till, Strip-till, etc.), as proving positive dynamics can be an additional argument in favor of transitioning to such technologies.

Study Area: Kyiv Region, Bila Tserkva District, Bloshchyntsi Village, based on the farm "Mriya" LLC, within Field No. 1. We tracked the dynamics of soil property changes over an extended period, using baseline data from 2005 (when traditional tillage was practiced within the farm) and monitored the changes over 13 years after the introduction of No-till technology in 2007. Soil sampling and determination of soil properties were conducted according to generally accepted and approved research methodologies.

The article analyzes the advantages and disadvantages of each soil conservation technology, with a particular focus on studying the changes of soil properties resulting from the implementation of No-till technology. The research results show that agro-physical indicators, such as soil bulk density, did not change significantly over the years. Agrochemical indicators, which are more variable over time, showed greater changes, especially the humus content, which increased by 1.4% over the reporting period. There is a positive trend in the increase of easily hydrolyzed nitrogen, which correlates with the increase in humus content. The use of liquid phosphorus starter fertilizers during sowing improved the dynamics of available phosphorus reserves, while the indicators of available potassium tended to decline. The level of micronutrient availability in the soil remains high. A clear trend towards an increase in boron content is observed, along with a simultaneous decrease in the content of other micronutrients, which is a natural phenomenon, as crop residues under No-till technology are the most important source of micronutrient return to the soil. No negative pesticide load on the soil has been observed, according to the obtained data.

Key words: soil fertility, No-till technology, agrophysical properties of soils, agrochemical properties of soils, humus content, nitrogen content, CO₂ sequestration.

References

1. Voitovyk M.V., Panchenko O.B., Prymak I.D., Tsiuk O.A. (2023). Porivnialna otsinka ahrofizychnykh vlastyvostei za riznykh tekhnolohii obrobittu gruntu v sivozmini [Comparative assessment of agrophysical properties under different technologies of soil processing in crop rotation]. *Ahronomiia*, iss. № 6/106 [in Ukrainian].
2. Ieshchenko V.O. (2013) No-till tekhnolohiia: yii sohodennia ta maibutnie [No-till technology: its present and future]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*, iss/ 1–2, pp. 4–9 [in Ukrainian].
3. Ilchenko V.Iu., Ponomarenko N.O., Ponomarenko N.H., Butenko D.M. (2013). Perevahy ta nedoliky No-till systemy [Advantages and disadvantages of the No-till system]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, iss. 43 (II), pp. 101–108 [in Ukrainian].
4. Kosolap M.P. (2023) Systema zberihaiuchoho zemlerobstva: No-till i Strip-till. Navchalnyi posibnyk [System of conservation agriculture: No-till and Strip-till. Study guide]. Kyiv: NUBiP Ukrainy, p. 377 [in Ukrainian].
5. Kosolap M.P., Krotinov O.P. (2011). Systema zemlerobstva No-till [No-till farming system], Kyiv: Lohos, p. 350 [in Ukrainian].
6. Mumindzhanov Kh.A., Kosolap M.P., Bykov M.I. (2023). Gruntozakhysne ta resursooshchadne zemlerobstvo v Ukraini [Soil protection and resource-saving agriculture in Ukraine. Study guide]. Navchalnyi posibnyk/ Kyiv: NUBiP Ukrainy, p. 120 [in Ukrainian].
7. Saiko V.F., Maliienko A.M. (2009). Minimalnyi ta nulovy obrobittu gruntu, stan i perspektyvy yikh zaprovadzen v Ukraini [Minimum and zero tillage, state and prospects of their implementation in Ukraine]. *Posibnyk ukrainskoho khliboroba. Naukovo-vyrobnychi shchorichnyk*. P. 178–188 [in Ukrainian].
8. Chornyi S.H., Vydynivska O.V., Volosheniuk A.V. (2012). Protidefliatsiina efektyvnist systemy zemlerobstva No-till v umovakh pivdennoho stepu Ukrainy [Anti-deflation effectiveness of the No-till farming system in the conditions of the southern steppe of Ukraine]. *Biologichni systemy*, iss. 1 (4), pp. 116–119 [in Ukrainian].
9. Al-Kaisi M. M., Archontoulis S. V., Kwaw-Mensah D., Miguez F. (2015). Tillage and Crop Rotation Effects on Corn Agronomic Response and Economic Return at Seven Iowa Locations. *Agronomy Journal*, iss. 107 (4), pp. 1958–1968 [in English].
10. Baker C.J., Ritchie R. Saxton K. E. (2007). The nature of risk in No-tillage. No-tillage seeding in conservation agriculture (2nd Edition). Rome: FAO – CABI Publication, 203 p [in English].
11. Che Y., Rejesus R.M., Cavigelli M.A. and others (2023). Long-term economic impacts of no-till adoption. *Soil Security*, iss. 13. pp. 1–13 [in English].
12. Thomas G.A., Dalal R.C., Standley J. (2007). No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. *Soil and Tillage Research*, iss. 94 (2), pp. 295–304 [in English].

УДК 338.43:330.131.1(477)

Кривохижа Є. М.

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,
професор кафедри агробіотехнологій,
Західноукраїнський національний університет
Тернопіль, Україна
E-mail: ye.krivokhyzha@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7270-6529

Резніченко В. П.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри загального землеробства,
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кропивницький, Україна
E-mail: vita.micenko16@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5693-0942

Кисельов О. М.

аспірант кафедри агротехнологій та ґрунтознавства,
Сумський національний аграрний університет
Суми, Україна
E-mail: o.kiselov.gs@snaui.edu.ua
ORCID: 0009-0000-6229-0179

**СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ
В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КРИЗИ****Анотація**

Актуальність теми дослідження зумовлена значним зростанням енергетичних витрат, що безпосередньо впливає на собівартість продукції аграрного сектора та його конкурентоспроможність. Згідно з даними Міністерства аграрної політики України, станом на 2023 рік вартість дизельного палива зросла на 10–15%, що безпосередньо вплинуло на збільшення витрат на обробіток одного гектара сільськогосподарських угідь. Паралельно з цим перебої в електропостачанні, зумовлені атаками на енергетичну інфраструктуру, вимушили аграрні підприємства використовувати генератори, що суттєво збільшило витрати на виробництво. Зазначені чинники спонукають підприємців аграрного сектора України до пошуку інноваційних підходів у сфері керування ресурсами задля забезпечення безперервності виробничих процесів і запобігання подальшому подорожчання продукції. Це потребує розроблення ефективних стратегій керування ресурсами, спрямованих на підвищення енергоефективності, оптимізацію витрат та гарантування продовольчої безпеки держави. У цьому контексті метою дослідження є аналіз ефективних стратегій керування ресурсами в аграрному секторі України в умовах сучасної енергетичної кризи, які б забезпечили стабільність виробництва, підвищили продуктивність та зменшили залежність від зовнішніх енергоносіїв.

Проведено бібліометричний аналіз наукових публікацій у базі даних Web of Science задля виявлення наукових тенденцій у дослідженнях керування ресурсами в аграрному секторі України в контексті енергетичної кризи. Аналіз 116 релевантних наукових статей дав змогу встановити, що російська збройна агресія суттєво трансформувала дослідницький ландшафт, актуалізувавши проблеми енергетичної безпеки та сталого розвитку агропромислового комплексу. Відповідно, спостерігається зростання інтересу наукової спільноти до питань енергоефективності, диверсифікації джерел енергії та впровадження технологій відновлюваної енергетики в аграрному виробництві. Отримані результати свідчать про те, що відновлювані джерела енергії все частіше розглядаються як стратегічний ресурс для забезпечення сталого розвитку сільського господарства та енергетичної незалежності України.

Особливо важливо, що агропромисловий комплекс України може забезпечити власну енергетичну незалежність шляхом активного використання відновлюваних джерел енергії. Інтеграція таких джерел у виробничі процеси не лише сприяє енергетичній безпеці, але й забезпечує гармонізацію з принципами сталого розвитку. Дослідження підтверджують, що ефективне керування ресурсами в аграрному секторі в умовах енергетичної кризи передбачає вжиття комплексу заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності та розширення використання відновлюваних джерел енергії. Зокрема, пріоритетними напрямками є модернізація обладнання, впровадження енергозберігуючих технологій, активне використання сонячної енергії та біоенергетики. Реалізація зазначених стратегій не лише забезпечить стабільність і конкурентоспроможність аграрного виробництва, але й сприятиме зменшенню вуглецевого сліду та досягненню цілей сталого розвитку.

Ключові слова: аграрний сектор, енергетична криза, керування ресурсами, енергоефективність, відновлювальні джерела енергії, енергетична незалежність.

Вступ. Сучасна енергетична криза створює значні перешкоди для ефективного функціонування аграрного сектора України. Перебої в електропостачанні, особливо в пікові періоди сільськогосподарських робіт, призводять до збоїв у технологічних процесах та зниження продуктивності. Зростання вартості енергоносіїв, зокрема дизельного палива, суттєво збільшує витрати виробництва, що негативно впливає на його економічну ефективність. Підвищення цін на енергію також призводить до скорочення виробничих потужностей на переробних підприємствах агропромислового комплексу, що ускладнює виконання контрактних зобов'язань і зменшує конкурентоспроможність української аграрної продукції на світовому ринку.

Традиційні підходи до керування ресурсами, як-от залежність від викопних видів палива та централізованого постачання електроенергії, потребують негайного перегляду. Наприклад, у попередні роки аграрії рідко інвестували в альтернативні джерела енергії, покладаючись на стабільність постачання дизельного палива і природного газу. Проте нині через зростання цін та ризики перебоїв цей підхід стає неефективним. Важливо перейти до впровадження таких відновлюваних джерел енергії, як сонячні та біогазові установки, а також до автономних енергосистем для фермерських господарств і переробних підприємств. Це дасть змогу знизити енергетичні витрати та забезпечити безперервність виробництва.

Розумне використання енергетичних, фінансових і людських ресурсів є вирішальним чинником для сталого розвитку агросектора та його конкурентоспроможності на внутрішньому і зовнішньому ринках. Так, у сфері енергетичних ресурсів важливо впроваджувати відновлювані джерела енергії, як-от сонячні та вітрові електростанції на фермах, а також енергоефективні системи поливу та сучасну сільськогосподарську техніку з низьким споживанням палива. Фінансові ресурси слід раціонально використовувати через оптимізацію операційних витрат, залучення грантів та інвестицій на проекти енергоефективності, що дасть змогу знизити залежність від традиційних джерел енергії. Для керування людськими ресурсами необхідно впроваджувати програми навчання персоналу новітнім технологіям, автоматизації виробничих процесів та раціональному використанню енергоресурсів, що підвищить продуктивність та зменшить витрати.

Ці кроки допоможуть аграрному сектору адаптуватися до нових економічних реалій, знизити енергетичні витрати та зберегти конкурентоспроможність на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Мета роботи. Стаття спрямована на формування ефективних стратегій керування ресурсами в аграрному секторі України в умовах енергетичної кризи.

Основні завдання:

- дослідити вплив енергетичної кризи на виробництво, обсяги реалізації та загальну економічну стабільність агросектору України;
- визначити ключові напрями впровадження енергоефективних технологій і відновлюваних джерел енергії в агропромисловому комплексі України.

Дослідження зосереджено на аналізі стратегій керування ресурсами в українському аграрному секторі в умовах енергетичної кризи. Для досягнення мети дослідження було застосовано різноманітні методи аналізу, зокрема бібліометричний аналіз.

З огляду на сучасні тенденції в наукових дослідженнях, що характеризуються активним використанням інноваційних підходів (зокрема, економіки досвіду), бібліометричний аналіз дозволив:

- кількісно оцінити наукову продукцію в досліджуваній галузі (число публікацій, цитування тощо);
- ідентифікувати провідні наукові центри та визначити перспективні напрями досліджень у контексті економіки досвіду;
- виявити найвпливовіші наукові роботи та журнали.

Для проведення бібліометричного аналізу було використано наукометричну базу даних Web of Science (WoS). Цей вибір зумовлений високою якістю індексованих публікацій та широкими можливостями для пошуку наукової інформації [34]. За допомогою WoS здійснювався поглиблений пошук у різноманітних виданнях (журнали, матеріали конференцій тощо), що забезпечило репрезентативність отриманих даних.

База даних WoS надає потужні інструменти для детального аналізу наукових публікацій, що дозволяє виявляти закономірності, тенденції та взаємозв'язки між різними аспектами дослідження. Таким чином, використання WoS як інструмента бібліометричного аналізу є оптимальним рішенням для дослідження стратегій керування інноваційним розвитком підприємств у рамках парадигми економіки досвіду.

Також у ході дослідження використовувався аналіз документів, що включав:

- ідентифікацію, відбір, оцінювання та синтез інформації, що міститься в документах;
- аналіз текстів для виявлення ключових тем щодо керування ресурсами в аграрному секторі України в умовах енергетичної кризи;
- інтеграцію отриманих результатів для формування загального розуміння стратегій управління ресурсами в аграрному секторі України в умовах енергетичної кризи.

Ці методи дозволили виявити закономірності, узгодженості й відмінності в дослідженнях, що сприяє розвитку бази знань щодо стратегій керування ресурсами в аграрному секторі України в умовах енергетичної кризи.

Отже, для проведення всебічного дослідження стратегій керування ресурсами в аграрному секторі України в умовах енергетичної кризи було здійснено систематичний огляд наукової літератури за допомогою бази даних

Web of Science (WoS). Пошуковий запит було сформульовано таким чином, щоб охопити максимально релевантні публікації, а саме «стратегії керування ресурсами» (усі поля), «аграрний сектор України» (тема), «енергетична криза» (ключові слова автора), обмеживши пошук статтями, оглядовими статтями та ранніми публікаціями. Крім того, було застосовано фільтр за категорією Web of Science «стратегічне керування».

Процедура відбору документів включала кілька етапів. Спочатку було проведено первинний скринінг отриманих результатів за критеріями, пов'язаними з типом публікації та тематикою дослідження. Наступним етапом стало детальне оцінювання кожного документа щодо відповідності тематиці дослідження. У результаті цього процесу було сформовано вибірку зі 116 наукових публікацій, які стали основою для подальшого аналізу.

Результати проведеного дослідження слід інтерпретувати з урахуванням певних обмежень. По-перше, обмежена вибірка джерел (35 публікацій) може вплинути на репрезентативність отриманих даних та не дозволяє охопити весь спектр наукових поглядів на досліджувану проблему. Для більш всебічного аналізу необхідно розширити вибірку джерел та залучити додаткові методи дослідження. По-друге, динамічність сучасних процесів в аграрному секторі та енергетиці вимагає постійного оновлення інформаційної бази. Тому результати цього дослідження можуть втратити свою актуальність за ступенем появи нових даних і наукових розвідок. Для забезпечення високого рівня достовірності та актуальності подальших досліджень необхідно розробити механізми регулярного оновлення інформаційної бази та впровадження новітніх методологічних підходів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасних економічних умовах аграрний сектор є не лише важливим, але й стратегічно необхідним для сталого розвитку країни [16]. Нині він відіграє ключову роль в економічному житті держави, оскільки забезпечує створення нових робочих місць, генерує значні надходження до державного бюджету, підвищує міжнародний авторитет країни, а також створює значну частку ВВП та сприяє його загальному зростанню [18]. Крім того, цей сектор є ключовим для забезпечення продовольчої безпеки України, впливаючи на економічні, соціальні та екологічні аспекти розвитку держави. Зміцнення його стійкості та ефективності є важливим завданням для забезпечення сталого розвитку нації [28].

24 лютого 2022 року, з початком вторгнення російських військ в Україну, розпочався новий, значно складніший етап у житті всієї держави, зокрема аграрного сектора [23]. Згідно з даними Київської школи економіки, лише за перші три місяці війни загальні збитки аграрного сектора перевищили 4,3 млрд дол. США, що становить близько 15% капіталу країни [14]. Непрямі витрати в сільському господарстві, спричинені стрімкою інфляцією, зменшенням виробництва, зростанням цін на виробничі ресурси та блокуванням портів, досягли 23,3 млрд дол. США [24].

З початком війни аграрний сектор України зіткнувся з низкою суттєвих викликів, що значно вплинули на його функціонування. Так, головними проблемами, що ускладнюють діяльність сільськогосподарських підприємств, є окуповані території, ризики під час посівної діяльності, логістичні труднощі, цілеспрямовані обстріли сільськогосподарської техніки, дефіцит робочої сили, крадіжки зернових культур, небезпека через нерозірвані снаряди та заміновані поля [1; 12].

Сільськогосподарський сектор України, крім економічних труднощів, унаслідок військових дій зазнав значних екологічних збитків. За даними Ekozaŕhoza [13], загальна сума збитків, завданих атмосферному повітрю, становить 775,37 млрд грн. Засмічення земельних угідь призвело до втрат на суму 1,14 трлн грн та забруднення площі в 21 047 843 м². Крім того, забруднення ґрунтів завдало шкоди в розмірі 18,45 млрд грн, охопивши площу 963 101 м².

Окрім того, загарбницька війна росії проти України призвела до того, що український агробізнес, який протягом багатьох років був світовим лідером з експорту сільськогосподарської продукції, нині змушений створювати адаптивну систему функціонування аграрної галузі в умовах війни та супутніх ризиків [22].

Значні труднощі агрокомплексу України викликані й енергетичною кризою, що виникла через постійні ракетні обстріли.

Функціонування сільськогосподарських підприємств включає різноманітні групи технологічних, економічних, екологічних та інших операцій. У цьому контексті практично будь-який вид діяльності тісно пов'язаний з використанням енергії. Це особливо стосується технологічних процесів, які вимагають енергетичних ресурсів, як-от паливо, електроенергія, теплова енергія [10]. Нестача електроенергії паралізує та ускладнює сільськогосподарське виробництво, оскільки пошук альтернативних джерел живлення завжди вимагає складних рішень і значних витрат, що неминуче спричиняє збільшення собівартості кінцевого продукту. Іноді перехід на альтернативне джерело живлення стає неможливим, що призводить до вимушених пауз, порушення режиму й темпу роботи, завдаючи суттєвих збитків підприємствам [17].

В умовах жорстких енергетичних обмежень аграрний сектор України стикається з низкою серйозних ризиків, які можуть суттєво вплинути на виробництво, обсяги реалізації та загальну економічну стабільність. Розглянемо основні з них.

1) Порушення основних виробничих процесів у тваринницькій галузі.

Жорсткі обмеження в енергозабезпеченні призводять до зниження продуктивності та зростання собівартості виробництва, що, своєю чергою, підвищує кінцеву ціну продукту. Виробництво м'ясної продукції страждає від перебоїв в енергопостачанні, оскільки, крім енергії для охолодження і зберігання, воно потребує електрики

для вентиляційних систем, опалення та годівлі. Роздрібні торговці змушені скорочувати замовлення на охолоджену продукцію тваринництва, деякі ритейлери взагалі відмовляються від постачання або відкладають його. Електрика є критично важливою для інкубаторів, а також залів відгодівлі птиці, свиней і великої рогатої худоби. Часті відключення електроенергії в цих секторах тваринництва є небезпечними, оскільки порушують процес відтворення продуктивного поголів'я [26].

Молокопереробні заводи також ризикують залишитися без сировини через знеструмлені системи охолодження та зберігання продукції. Істотне скорочення використання електрики неминуче призведе до зменшення обсягів виробництва кінцевої продукції, зниження закупівельних цін на молокосировину, що, у свою чергу, спричинить дефіцит української молочної продукції в торгових мережах і зростання імпорту готової молочної продукції [21].

2) Втрата частини врожаю зернових культур.

Особливо актуальною ця проблема є для кукурудзи, яка вимагає великої кількості електроенергії для процесу сушіння. Близько третини врожаю кукурудзи залишається на полях через погодні умови та відключення електроенергії [9]. Найбільше це вплинуло на малі та середні господарства, адже блокада українських портів з лютого по липень 2022 року позбавила їх вільних коштів, які могли би бути використані для організації автономного живлення.

Водночас використання теплогенераторів дає змогу елеваторам і фермерським господарствам значно зекономити на сушінні зерна. Елеватор, що використовує теплогенератор на альтернативному паливі, витрачає втричі менше коштів на один тонно-процент сушіння зерна. У разі використання якісного палива теплогенератор може працювати без зупинок протягом 5–7 днів [26].

3) Зниження обсягів внутрішнього перероблення.

Так, наприклад, олієекстрактні заводи стикаються з такими серйозними проблемами через суттєве обмеження електропостачання [2]:

- зниження обсягів перероблення соняшнику, що призводить до зростання експорту непереробленого насіння;
- втрата доданої вартості через недостатнє внутрішнє перероблення.

Таким чином, 2022 рік відзначився не лише початком повномасштабної війни росії проти України, але й першим кроком для формування енергетичної незалежності нашої країни. Ця війна спровокувала ситуацію, в якій цінність відновлюваних джерел енергії перетворилася з екологічної на безпекову та економічну [19].

Загалом енергетичну незалежність можна визначити як сукупність енергозберезувальних заходів, яких необхідно вживати на основі практичної реалізації наукових, економічних, законодавчих, організаційних, технічних, технологічних та екологічних аспектів. Їх мета – забезпечити державу енергією власного виробництва і раціональне споживання енергетичних ресурсів. Це передбачає поступове нарощування та впровадження в господарський обіг найбільш економічно доцільних джерел енергії [6–8].

Енергетична незалежність агропромислового комплексу є стратегічною метою для забезпечення сталого розвитку національної економіки, оскільки саме в аграрній галузі створюється значна частина національного багатства. Особливо важливо, що агропромисловий комплекс може забезпечити власну енергетичну незалежність, зокрема автономію, через внутрішній енергетичний потенціал, який гармонійно інтегрується в систему сталого розвитку завдяки відновлюваному характеру використовуваних ресурсів [6–8].

Умови, спричинені енергетичною нестабільністю, вимагають ефективних стратегій керування ресурсами, щоб забезпечити стійкість виробництва, мінімізувати ризики та оптимізувати витрати. Серед цих стратегій виокремимо такі:

1) Оптимізація енергетичних витрат.

Важливим елементом керування ресурсами в умовах енергетичної кризи є зменшення споживання енергії шляхом модернізації обладнання, використання енергоефективних технологій та автоматизації виробничих процесів, а саме:

- підвищення енергоефективності техніки (наприклад, упровадження енергоощадних систем для сільськогосподарської техніки, як-от трактори та комбайни, знижує енергоспоживання і залежність від палива);
- використання систем моніторингу споживання енергії, що дає змогу контролювати та аналізувати, де йдуть найбільші втрати, а також оптимізувати роботу обладнання.

Оптимізація енергоспоживання повинна здійснюватися з урахуванням екологічного складника, зокрема ризиків, пов'язаних зі стійкими органічними забруднювачами (СО₂). Відсутність в Україні спеціалізованого законодавства, що регулює обіг СО₂, ускладнює впровадження енергоефективних технологій. Недостатній контроль за викидами СО₂ може призвести до парадоксальної ситуації: прагнення до енергоефективності здатне спричинити додаткові витрати через пошкодження обладнання та зниження його продуктивності.

2) Диверсифікація джерел енергії.

Сільськогосподарські підприємства можуть знижувати залежність від таких традиційних джерел енергії, як газ і нафта, шляхом диверсифікації та використання відновлюваних джерел енергії. Відновлювальні (або альтернативні) джерела енергії – це природні явища, які шляхом перетворення в спеціальних установках

трансформуються в теплову або електричну енергію. До таких джерел належать енергія сонця, вітрова енергетика, гідроенергетика та біопаливо (табл. 1).

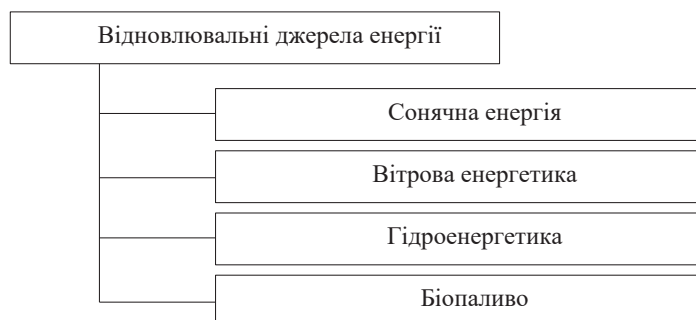


Рис. 1. Відновлювальні джерела енергії

Джерело: [11]

а) *Сонячна енергетика* є однією з найперспективніших галузей відновлювальної (нетрадиційної) енергії. Кліматичні умови та географічне розташування України створюють сприятливі умови для розвитку сонячної енергетики та зведення електростанцій, що використовують сонячні панелі для перетворення сонячного світла на електричну енергію.

У сучасному світі сонячна енергія стала важливим елементом енергетичного ландшафту, переважно завдяки своїй доступності та екологічній чистоті [30]. Сонячна енергетика відіграє вирішальну роль у розвитку енергетичних ринків, забезпечуючи значну частку в загальній структурі вартості так званої зеленої електроенергії. Сонячна радіація, що доступна практично на всій території України, найефективніше використовується для розвитку теплової та електричної енергетики. Щодо екологічних та соціальних аспектів, то сонячна енергія з мінімальним негативним впливом на навколишнє середовище може створити велику кількість додаткових робочих місць. Динаміка виробництва сонячної енергії є найвищою серед відновлювальних джерел енергії, і щороку спостерігається тенденція до зростання потужності сонячних електростанцій [31].

б) *Вітрова енергетика*. Історія використання вітрової енергії людиною налічує тисячі років. Проте лише в останні 40 років цей відновлювальний ресурс став об'єктом активних досліджень та інвестицій. Період з 1980-х років характеризується модернізацією використання вітрової енергії [5]. Нині вітроенергетика стає однією з ключових галузей світової економіки і демонструє найшвидше зростання потужностей серед усіх енергетичних технологій. Значний технічний прогрес у цій сфері спостерігається з 2000-х років. Протягом останніх 20 років у світі потужність введених в експлуатацію вітрових електростанцій зросла в 65 разів [35].

в) *Гідроенергетика*. Гідроенергетика є надійною та перевіреною технологією виробництва електроенергії, яка не потребує використання викопних або ядерних видів пального. Ця технологія характеризується стабільним і відновлювальним енергоресурсом, тривалим терміном служби та високою надійністю в експлуатації. Вона також відзначається передбачуваністю режимів роботи, високою маневреністю і коефіцієнтом готовності. Гідроенергетика забезпечує можливості розв'язання інших важливих господарських задач, як-от водопостачання, рибне господарство, контроль за захистом прилеглих територій від повеней, а також переведення земель з категорії ризикованого землеробства в гарантоване, зокрема завдяки зрошенню. Варто зазначити, що виробництво електроенергії на гідроелектростанціях (ГЕС) здійснюється без витрат води, оскільки вода з верхнього водосховища проходить через гідротурбінну до русла річки без зміни свого обсягу, що означає відсутність технологічних втрат води під час виробництва електроенергії на ГЕС [4]. Однак зміна гідрохімічного режиму може порушити цілісність екосистеми та зменшити видове різноманіття [33].

г) *Біопаливо*. Біогаз є одним з найперспективніших видів альтернативного пального. Його виробництво не лише не потребує вирощування чи додаткової підготовки вихідних матеріалів, але й дозволяє утилізувати відходи, зменшуючи екологічне навантаження на довкілля. У регіонах України отримання пального в біогазових установках стає все більш популярним. За обсягами ринку цей напрям посідає третє місце після сонячної та вітрової енергетики. Поєднання сільськогосподарської діяльності з виробництвом відновлювальної енергії за допомогою біогазу має численні переваги. Це сприяє фермерам в ефективному керуванні відходами та залишками виробництва, знижує викиди парникових газів у сільському господарстві, а також покращує якість ґрунту та біорізноманіття в аграрних угіддях [6–8]. Зауважимо, що з моменту здобуття незалежності Україна досягла значних успіхів у розвитку «зеленої» енергетики. У 2021 році країна потрапила до ТОП-10 країн світу за темпами зростання цієї галузі, а у 2020 році посіла п'яте місце серед європейських країн за темпами розвитку сонячної енергетики. На початок 2022 року інвестиції в цей сектор становили 12 млрд дол. США, що дало змогу забезпечити виробництво 9,656 ГВт електроенергії. Найбільша частка потужностей належала сонячним електростанціям, їхні показники

в першому півріччі 2021 року сягнули 6 351 МВт (порівняно з 411 МВт у 2014 році). Вітроелектростанції мали потужність 1 593 МВт (426 МВт у 2014 році), а домашні сонячні електростанції досягли 933 МВт (лише 2 МВт у 2015 році). Потужності електростанцій на біомасі, малих гідроелектростанцій і біогазових станцій у 2021 році перевищили 100 МВт. Найбільше зростання спостерігалось на сонячних електростанціях, тоді як малі гідроелектростанції показали найменший приріст – із 80 МВт до 118 МВт [22]. У 2021 році відновлювані джерела енергії становили 8% у загальному обсязі виробництва електроенергії в Україні. Подальший розвиток «зеленої» енергетики передбачений в Енергетичній стратегії України до 2035 року, згідно з якою до 2025 року частка відновлюваних джерел в енергетичному міксі повинна зрости до 12%, до 2030 року – до 17%, а до 2035 року – до 25% (рис. 2).

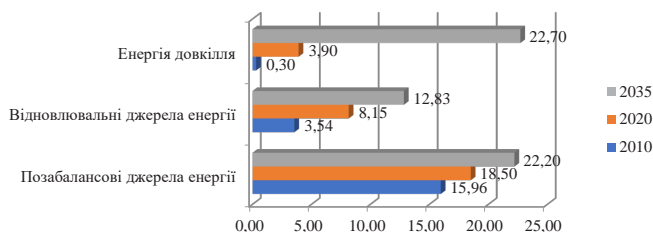


Рис. 2. Прогнозовані показники використання альтернативних та відновлювальних джерел енергії, млн у. п. тон/рік

Джерело: складено авторами за матеріалами [27]

Як уже було сказано вище, найбільш перспективними напрямками розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Україні є вітрова енергетика, сонячна енергетика, біоенергетика, гідроелектрична енергетика та геотермальна енергетика (рис. 3).

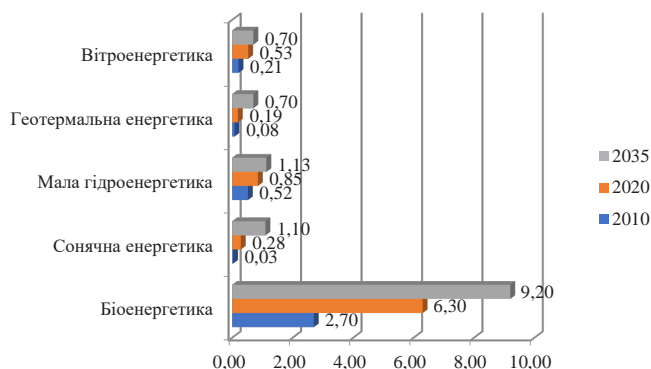


Рис. 3. Прогнозовані показники перспективних напрямів розвитку відновлюваних джерел енергії в Україні, млн у. п. тон/рік

Джерело: складено авторами за матеріалами [27]

3) Рациональне використання водних ресурсів.

В умовах енергетичної кризи також важливо звернути увагу на ефективне використання водних ресурсів, оскільки багато систем зрошення потребують значної кількості електроенергії. У такому аспекті актуальними є:

- використання технологій крапельного зрошення, що допомагає значно знизити споживання води та електроенергії порівняно з традиційними системами;
- автоматизовані системи керування зрошенням, які дають змогу оптимізувати процеси поливу та уникнути надмірного використання води, знижуючи навантаження на енергосистеми.

4) Впровадження цифрових технологій.

Використання цифрових рішень для керування сільськогосподарськими процесами допомагає значно підвищити ефективність використання ресурсів і знизити енергоспоживання. Цифрові системи дають змогу контролювати використання добрив, води та палива на кожному етапі вирощування культур, знижуючи надлишкове використання ресурсів.

Однією з інновацій є технології прецизійного землеробства (як-от прецизійне сільське господарство, прецизійне зрошення, цифрове господарство та сільське господарство 4.0), що являють собою комплекс технологій, які об'єднують датчики (сенсори), інформаційні системи та технології керування, а також ефективні сільськогосподарські машини та обладнання [15].

Переваги інтеграції технологій прецизійного землеробства в господарську діяльність сільськогосподарських підприємств наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Переваги прецизійного землеробства

Переваги	Опис
Висока продуктивність і врожайність	Точне визначення моментів для використання зрошення, добрив та гербіцидів сприяє збільшенню врожайності. Використання органічних добрив дає змогу підвищити родючість ґрунтів, зменшити негативний вплив на довкілля та покращити якість продукції [25].
Покращене керування витратами	Точні дані дають змогу здійснювати кращий контроль над витратами. Сучасні інструменти та автоматизовані системи допомагають контролювати та коригувати посіви.
Зниження відходів	Цифрові технології зменшують споживання води, пального, добрив і гербіцидів, що підвищує врожайність та зменшує витрати ресурсів, часу та праці
Зменшення вуглецевого сліду	Впровадження новітніх технологій знижує вуглецевий слід. Ефективність автономних процесів зменшує споживання викопного пального для живлення цих елементів.

Джерело: [15]

Система прецизійного землеробства підвищує ефективність і точність усіх сільськогосподарських операцій, як-от обробіток ґрунту, посів, обприскування, внесення добрив і збирання врожаю. Впровадження цієї системи вимагає нового підходу, підготовки кваліфікованих кадрів та забезпечення підприємств сучасними інформаційно-комунікаційними й обчислювальними технологіями. Крім того, необхідно впровадження методів математичного моделювання, автоматизації, нових інформаційних технологій, зокрема геоінформаційних, а також засобів штучного інтелекту [15].

Ще однією новітньою технологією є дистанційне керування технікою. Інноваційні системи дистанційного керування сільськогосподарською технікою знижують витрати на паливо і підвищують точність виконання робіт.

5) Кооперація та створення кластерів.

Ефективним рішенням може бути об'єднання фермерів у кооперативи чи кластери для спільного використання ресурсів, як-от енергетичні установки або інфраструктура для перероблення продукції. Це допомагає знизити індивідуальні витрати і краще управляти енергетичними потребами.

Так, наприклад, міжнародний сільськогосподарський кластер «Дністер», заснований 5 червня 2018 року в рамках проєкту «Транскордонна мережа для інноваційного сільського господарства», є важливим кроком у розвитку сільського господарства в Україні. Цей проєкт виник у співпраці країн Східного партнерства, зокрема Молдови та України, й отримав фінансову підтримку Європейського Союзу через Німецьке товариство міжнародного співробітництва (GIZ) [20].

Агрокластер «Дністер» виступає не лише як платформа, але й як каталізатор інновацій у сільському господарстві, об'єднуючи творчих і досвідчених фахівців з обох країн. Він слугує інформаційною та науково-дослідною платформою для обміну знаннями, технологіями та кращими практиками серед агробізнесу регіону. Цей кластер враховує інноваційні аспекти в сільському господарстві, включно із сучасними методами керування, впровадженням нових технологій і сталим розвитком. Завдяки співпраці фахівців з різних країн «Дністер» формує ефективні рішення для викликів, що стоять перед агробізнесом регіону, сприяючи економічному розвитку та підвищенню якості життя в сільських районах.

6) Державна підтримка та залучення інвестицій.

Світовий досвід показує, що наявні технології виробництва альтернативних джерел енергії ще не є доволі досконалими, демонструючи різний рівень економічної ефективності та технічного прогресу. Проте всі вони мають суттєві переваги, зокрема дуже низький або практично відсутній рівень викидів парникових газів, а також невичерпні (відновлювальні) запаси пального, необхідного для їх експлуатації.

Нині програми державної підтримки аграрного бізнесу в Україні в умовах війни спрямовано на стабілізацію та відновлення сектора, який зазнав значних втрат через військові дії (табл. 2).

Таблиця 2. Державні програми підтримки аграрного бізнесу в умовах війни

№	Вид підтримки	Опис
1	Фінансова допомога	Малим аграріям на деокупованих територіях надається 8 000 грн на 1 га (до 120 га), на контрольованих територіях – 4 000 грн на 1 га Підтримка фермерів, що утримують худобу, – 7 000 грн на одну голову корови та 2 000 грн на одну голову кіз і овець.
2	Компенсаційні програми	Відшкодування до 50% вартості відновлення та будівництва меліоративних систем (не більше 26 500 грн на 1 га). Компенсація до 25% вартості нової техніки, придбаної з квітня 2024 року. Відшкодування до 80% витрат на розмінування сільськогосподарських земель.
3	Кредитні гарантії	Гарантія на кредити для агропідприємств, що обробляють до 500 га, через Фонд часткового гарантування. Програма «Доступні кредити 5–7–9%» для підприємців з деокупованих територій з низькими процентними ставками.
4	Грантове фінансування	Гранти до 70% вартості проєктів на створення або розвиток садівництва та теплиць за умови співфінансування не менше 30% вартості проєкту.
5	Податкові пільги	Звільнення від сплати податків для сільськогосподарських земель, що розташовані в зонах бойових дій або замінованих територій.

Джерело: [3]

Ці заходи дають змогу аграрному бізнесу продовжувати функціонувати в умовах війни, сприяють відновленню сільськогосподарського виробництва і забезпеченню продовольчої безпеки країни.

Для зменшення негативного впливу енергетичної кризи аграрні підприємства повинні активно співпрацювати з урядом та міжнародними інвесторами для отримання фінансової підтримки на модернізацію енергетичної інфраструктури та впровадження відновлюваних джерел енергії.

Роботу сфокусовано на дослідженні ефективних стратегій керування ресурсами в аграрному секторі України з урахуванням сучасних викликів енергетичної кризи, спрямованих на забезпечення стабільності, підвищення продуктивності та зниження залежності від зовнішніх енергетичних джерел.

Згідно з отриманими результатами, аграрний сектор України стикається з багатьма викликами, як-от зниження виробництва через обстріли, перебої в постачанні ресурсів, а також зростання цін на енергію. Відзначено, що використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі та біогазові установки, є критично важливим для забезпечення стійкості виробництва. Впровадження новітніх технологій, спрямованих на зменшення енергоспоживання та підвищення продуктивності, повинно бути визначальним пріоритетом для аграрних виробників. Це дозволить не лише підвищити ефективність виробництва, але й забезпечити стійкість аграрного сектора в умовах сучасних енергетичних ризиків.

Отримані результати дослідження загалом корелюють із висновками попередніх наукових робіт, які підтверджують негативний вплив енергетичної кризи на аграрний сектор. Однак, на відміну від більшості попередніх досліджень, які фокусуються переважно на фінансових аспектах цієї проблеми, представлене дослідження акцентує увагу на важливості енергетичної незалежності аграрного сектора як ключового фактору адаптації до нових умов. Цей висновок є відносно новим для наукової дискусії, оскільки попередні дослідження частіше розглядали фінансові механізми як основний інструмент адаптації.

Наукова новизна дослідження полягає в комплексному аналізі впливу військових дій на аграрний сектор України з акцентом на ролі технологічних інновацій та енергетичної незалежності як ключових факторів забезпечення стійкості сільськогосподарського виробництва. Отримані результати розширюють розуміння адаптаційних механізмів аграрного сектора до екстремальних умов та підкреслюють необхідність інтеграції інноваційних підходів в аграрну політику. Це відкриває нові перспективи для подальшого розвитку аграрної галузі та підвищення її стійкості до зовнішніх загроз.

Висновки. Отже, оптимізація керування ресурсами в аграрному секторі України в умовах енергетичної кризи потребує впровадження інноваційних стратегій, спрямованих на підвищення енергоефективності та використання відновлюваних джерел енергії. Перехід до енергоефективних технологій дасть змогу знизити споживання енергоресурсів на 20–30% та скоротити витрати на них на 15–25%, що еквівалентно щорічній економії до 500–700 млн грн для великих агропідприємств. Впровадження сонячної та вітрової енергетики забезпечить до 40% енергетичних потреб аграрного сектора, знизивши енергоємність виробництва на 20–30% та зменшивши викиди вуглекислого газу на 15–20%, що позитивно вплине на екологічний стан довкілля. Крім того, зниження залежності від імпортованих енергоресурсів на 25–35% призведе до суттєвої економії коштів та покращення фінансового становища аграріїв. Загалом запровадження відновлюваних джерел енергії дасть змогу зменшити річні витрати на енергоспоживання на 10–15% та знизити екологічне навантаження на аграрний сектор.

Зрештою, успішна реалізація стратегій керування ресурсами в аграрному секторі, зокрема перехід до енергоефективних технологій та активне використання відновлюваних джерел енергії, є ключовим фактором подолання викликів енергетичної кризи та забезпечення сталого розвитку галузі.

Список використаних джерел

1. Белкін І. Аграрний сектор України в умовах війни: проблеми та перспективи розвитку. *Наукові перспективи*. 2024. Вип. 4 (46). С. 484–498. DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-4\(46\)-484-498](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-4(46)-484-498).
2. Блекаут: як в умовах відключення електроенергії живе агробізнес. 2022. URL: <https://latifundist.com/spetsproekt/994-blekaut-yak-v-umovah-vidklyuchennya-elektroenergiyi-zhive-agrobiznes>.
3. Бюджет 2024 – яку державну підтримку заклали для агросектору? *Ahropolit*. 2024. URL: <https://agropolit.com/spetsproekty/1025-byudjet-2024--yaku-derjavnu-pidtrimku-zaklali-dlya-agrosektoru>.
4. Васько П., Мороз А., Бриль А., Ібрагімова М. Екологічні аспекти розвитку гідроенергетики в Україні. *Відновлювана енергетика*. 2018. № 2. С. 57–69. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vien_2018_2_9.
5. Гаднадь І., Тар К., Молнар Й. Сучасний стан та перспективи розвитку вітрової енергетики у світі, Європі та в Україні, зокрема на Закарпатті. *Український географічний журнал*. 2020. № 1. С. 59–70. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UGJ_2020_1_10.
6. Гончарук І. Енергетична незалежність АПК на засадах сталого розвитку. *Інвестиції: практика та досвід*. 2020. № 17–18. С. 29–36. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2020.17-18.29>.
7. Гончарук І. Енергетична незалежність як суспільно-економічне явище. *Економіка та держава*. 2020. № 8. С. 71–77. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.8.71>.
8. Гончарук І. Європейський досвід виробництва біогазу й біометану з відходів за принципом циркулярної економіки у сільському господарстві. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2023. № 4 (66). С. 7–19. DOI: <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2023-4-1>.
9. Гордійчук Д., Пилипів І. Стратегія – пройти зиму. Як промислові підприємства виживають без електроенергії. 2022. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/12/19/695149>.
10. Градовий В. Організаційні засади енергозбереження в сільському господарстві. *Інститут бухгалтерського обліку, контроль та аналіз в умовах глобалізації*. 2020. № 3–4. С. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.35774/ibo2020.03.045>.

11. Добрянська Н., Лагодієнко В., Торішня Л. Перспективи використання відновлювальних джерел енергії в Україні. *Український журнал прикладної економіки*. 2020. Т. 5. № 2. С. 206–213. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2020-2-25>.
12. Дяченко М., Жмуденко В. Аграрний сектор України: поточний стан та його відновлення в умовах трансформаційних змін. *Економіка та суспільство*. 2023. № 56. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-8>.
13. Екозагроза: вебсайт. 2024. URL: <https://ecozagroza.gov.ua>.
14. Загальні збитки від війни в сільському господарстві України сягнули 4,3 млрд дол. США – KSE Агроцентр. 2022. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalni-zbitki-vid-viyni-v-silskomu-gospodarstvi-ukrayini-syagnuli-4-3-mlrd-dol-ssha-kse-agrotsentr>.
15. Зацерковний В., Ворох В. Диференційні технології прецизійного землеробства. *Технічні науки та технології*. 2024. № 1 (35). С. 292–301. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-292-301](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-292-301).
16. Козловський С., Гнідова Б., Скомаровський В., Мохар Д. Проблеми розвитку аграрної галузі в умовах війни в Україні. *Агроевіт*. 2024. № 11. С. 83–93. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.11.83>.
17. Крамар І., Баранов К. Проблеми функціонування агропромислового комплексу України під час війни. *Формування механізму зміцнення конкурентних позицій національних економічних систем у глобальному, регіональному та локальному вимірах*: зб. тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції (16 травня 2024 року, Тернопіль). Тернопіль: ТНТУ, 2024. С. 40–42. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/45138/2/FMZKP_2024_Kramar_I-Problems_of_Ukraine_agricultural_40-42.pdf.
18. Макалюк І., Кашпуренко Т., Баранніков М. Становище підприємств аграрного сектору України в умовах війни: фінансово-інвестиційні аспекти. *Економіка та суспільство*. 2023. № 49. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-49-7>.
19. Макеєнко П. Світове енергоспоживання та роль цифровізації в подоланні енергетичної кризи. *European scientific journal of Economic and Financial innovation*. 2023. № 1 (11). URL: https://www.researchgate.net/publication/374381391_SVITOVE_ENERGOSPOZIVANNA_TA_ROL_CIFROVIZACII_V_PODOLANNI_ENERGETICNOI_KRIZI.
20. Міжнародний сільськогосподарський кластер «Дністер»: вебсайт. 2024. URL: <https://dnisteragro.org.ua>.
21. Молочні підприємства можуть не пережити відключень електроенергії. 2022. URL: <https://kurkul.com/news/31749-molochni-pidpriemstva-mojut-ne-perejiti-vidklyuchen-elektroenergiyi>.
22. Мовчанюк А., Дяченко М. Аграрний сектор України в умовах війни. *Ефективна економіка*. 2023. № 2. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.2.32>.
23. Негрей М., Тараненко А., Костенко І. Аграрний сектор України в умовах війни: проблеми та перспективи. *Економіка та суспільство*. 2022. № 40. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-40-38>.
24. Непрямі втрати у сільському господарстві оцінюються у 23,3 млрд дол. США. 2022. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/nerpyami-vtrati-u-silskomu-gospodarstvi-otsinyuyutsya-u-23-3-mlrd-dol-ssha>.
25. Перегуда Ю. Економічна ефективність технологій виробництва органічних добрив для малих та середніх підприємств. *Техніка і наука сьогодні*. 2024. № 6 (34). DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-6\(34\)-344-354](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-6(34)-344-354).
26. Проблеми стійкості аграрного сектору в умовах жорстких енергетичних обмежень. 2023. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/problemy-stiykosti-ahrahnoho-sektoru-v-umovakh-zhorstkykh-enerhetychnykh>.
27. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: розпорядження КМУ № 605-р від 18 серпня 2017 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p>.
28. Томашук І., Борболук Є. Значення аграрного сектора економіки у забезпеченні продовольчої безпеки України. *Економіка та суспільство*. 2023. № 58. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-26>.
29. Чумаченко О. Роль відновлюваних джерел енергії у електроенергетичному балансі України. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2022. Т. 3. № 67. С. 39–47. DOI: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-67-39-47>.
30. Benli H. Techno-economic analysis of solar greenhouses. *International Journal of Vegetable Science*. 2019. Vol. 26. No. 3. P. 249–261. URL: https://www.researchgate.net/publication/336049359_Techno-economic_analysis_of_solar_greenhouses.
31. Kalogirou S. Solar Economic Analysis. *Solar Energy Engineering*. 2024. С. 719–752. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99350-0.00004-1>.
32. Mykhailenko V., Safranov T. Estimation of Input of Unintentionally Produced Persistent Organic Pollutants into the Air Basin of the Odessa Industrial-and-Urban Agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22. No. 9. P. 21–31. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>.
33. Poleva J. Characteristics of bottom fauna of small reservoirs of the Steppe zone of Ukraine. *Ecology and Noospherology*. 2020. Vol. 31. No. 2. P. 105–107. DOI: <https://doi.org/10.15421/032017>.
34. Singh V., Singh P., Karmakar M., Leta J., Mayr P. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*. 2021. Vol. 126. P. 5113–5142. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>.
35. Wind Energy Barometer. *EurObserv'ER*. 2023. URL: <https://www.eurobserv-er.org/wind-energy-barometer-2019>.

Kryvokhyzha Ye. M.

*Doctor of Agricultural Science, Senior Researcher, Professor in the Department of Agrobiotechnology,
West Ukrainian National University
Ternopil, Ukraine*

E-mail: ye.kryvokhyzha@ukr.net

ORCID: 0000-0001-7270-6529

Reznichenko V. P.

*PhD of Agriculture, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Hydroponics,
Agricultural Engineering Faculty,
Central Ukrainian National Technical University
Kropyvnytskyi, Ukraine*

E-mail: vita.micenko16@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5693-0942

Kyselov O. M.

*Graduate Student, Plant Growing Department, Faculty of Agricultural Technologies and Environmental,
Sumy National Agrarian University
Sumy, Ukraine*

E-mail: o.kyselov.gs@snau.edu.ua

ORCID: 0009-0000-6229-0179

RESOURCE MANAGEMENT STRATEGIES IN THE AGRICULTURAL SECTOR OF UKRAINE UNDER THE CONDITIONS OF THE ENERGY CRISIS

Abstract

The relevance of the research topic is due to a significant increase in energy costs, which directly affects the cost of production of the agricultural sector and its competitiveness. According to the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, as of 2023, the cost of diesel fuel increased by 10–15%, which directly affected the increase in the cost of cultivating one hectare of agricultural land. At the same time, power outages caused by attacks on the energy infrastructure forced agricultural companies to use generators, which significantly increased production costs. These factors are prompting Ukrainian agricultural businesses to look for innovative approaches to resource management in order to ensure the continuity of production processes and prevent further product price increases. This, in turn, requires the development of effective resource management strategies aimed at improving energy efficiency, optimizing costs and ensuring food security. In this context, the aim of the study is to analyse effective resource management strategies in the agricultural sector of Ukraine in the context of the current energy crisis, which would ensure production stability, increase productivity and reduce dependence on external energy carriers.

The article conducts a bibliometric analysis of scientific publications in the Web of Science database in order to identify scientific trends in research on resource management in the agricultural sector of Ukraine in the context of the energy crisis. The analysis of 116 relevant scientific articles has revealed that the Russian armed aggression has significantly transformed the research landscape, raising the issues of energy security and sustainable development of the agro-industrial complex. Accordingly, there is a growing interest of the scientific community in energy efficiency, diversification of energy sources and the introduction of renewable energy technologies in agricultural production. The results obtained indicate that renewable energy sources are increasingly seen as a strategic resource for ensuring sustainable agricultural development and energy independence of Ukraine.

It is particularly important that the Ukrainian agricultural sector can ensure its own energy independence through the active use of renewable energy sources. The integration of such sources into production processes not only contributes to energy security but also ensures harmonization with the principles of sustainable development. Studies confirm that effective resource management in the agricultural sector in the context of the energy crisis requires the implementation of a set of measures aimed at improving energy efficiency and expanding the use of renewable energy sources. In particular, the priority areas include modernization of equipment, introduction of energy-saving technologies and active use of solar energy and bioenergy. The implementation of these strategies will not only ensure the stability and competitiveness of agricultural production, but will also help to reduce the carbon footprint and achieve sustainable development goals.

Key words: *agricultural sector, energy crisis, resource management, energy efficiency, renewable energy sources, energy independence.*

References

1. Bielkin, I. (2024). Ahrarnyi sektor Ukrainy v umovakh viiny: problemy ta perspektyvy rozvytku [The agricultural sector of Ukraine in the conditions of war: problems and prospects for development]. *Naukovi perspektyvy – Scientific Perspectives*, 4 (46), 484–498. DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-4\(46\)-484-498](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-4(46)-484-498) [in Ukrainian].
2. Blekaut: yak v umovakh vidkliuchennia elektroenerhii zhyve ahrobiznes [Blackout: How agribusiness lives during a power outage]. (2022). *Latifundist*. Retrieved from: <https://latifundist.com/spetsproekt/994-blekaut-yak-v-umovah-vidklyuchennya-elektroenergiyi-zhyve-agrobiznes> [in Ukrainian].

3. Biudzheth 2024 – yaku derzhavnu pidtrymku zaklaly dlia ahrosektoru? [Budget 2024 – What state support was laid for the agricultural sector?]. (2024). *Ahropolit*. Retrieved from: <https://agropolit.com/spetsproekty/1025-byudjet-2024--yaku-derjavnu-pidtrimku-zaklaly-dlya-agrosektoru> [in Ukrainian].
4. Vasko, P., Moroz, A., Bryl, A., & Ibrahimova, M. (2018). Ekolohichni aspekty rozvytku hidroenerhetyky v Ukraini [Ecological aspects of hydropower development in Ukraine]. *Vidnovliuvana enerhetyka – Renewable Energy*, no. 2, pp. 57–69. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vien_2018_2_9 [in Ukrainian].
5. Hadnad, I., Tar, K., & Molnar, Y. (2020). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku vitrovoi enerhetyky u sviti, Yevropi ta v Ukraini, zokrema na Zakarpatti [Current state and prospects of wind energy development in the world, Europe, and Ukraine, particularly in Transcarpathia]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Journal*, no. 1, pp. 59–70. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UGJ_2020_1_10 [in Ukrainian].
6. Honcharuk, I. (2020). Enerhetychna nezalezhnist APK na zasadakh staloho rozvytku [Energy independence of the agricultural sector on the basis of sustainable development]. *Investytsii: praktyka ta dosvid – Investments: Practice and Experience*, 17–18, pp. 29–36. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2020.17-18.29> [in Ukrainian].
7. Honcharuk, I. (2020). Enerhetychna nezalezhnist yak suspilno-ekonomichne yavyshe [Energy independence as a socio-economic phenomenon]. *Ekonomika ta derzhava – Economy and State*, no. 8, pp. 71–77. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.20.8.71> [in Ukrainian].
8. Honcharuk, I. (2023). Yevropeyskyi dosvid vyrobnytstva biohazu y biometanu z vidkhodiv za pryntsyptom tsyrkuliarnoi ekonomiky u silskomu hospodarstvi [European experience in biogas and biomethane production from waste based on circular economy principles in agriculture]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky – Economics, Finance, Management: Current Issues of Science and Practice*, 4 (66), pp. 7–19. DOI: <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2023-4-1> [in Ukrainian].
9. Hordiichuk, D., Pylypiv, I. (2022). Stratehiia – proity zymu. Yak promyslovi pidpriemstva vyzhyvaiut bez elektroenerhii [The strategy is to get through the winter. How industrial enterprises survive without electricity]. *Ekonomichna Pravda – Economic Truth*. Retrieved from: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/12/19/695149> [in Ukrainian].
10. Hradovyi, V. (2020). Orhanizatsiini zasady enerhozberezhennia v silskomu hospodarstvi [Organizational principles of energy saving in agriculture]. *Instytut bukhhalterskoho obliku, kontrol ta analiz v umovakh hlobalizatsii – Accounting, Control, and Analysis in the Conditions of Globalization*, no. 3–4, pp. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.35774/ibo2020.03.045> [in Ukrainian].
11. Dobrianska, N., Lahodiienko, V., Torishnia, L. (2020). Perspektyvy vykorystannia vidnovliuvalnykh dzherel enerhii v Ukraini [Prospects for the use of renewable energy sources in Ukraine]. *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky – Ukrainian Journal of Applied Economics*, 5 (2), pp. 206–213. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2020-2-25> [in Ukrainian].
12. Diachenko, M., Zhmudenko, V. (2023). Ahrarnyi sektor Ukrainy: potochnyi stan ta yoho vidnovlennia v umovakh transformatsiinykh zmin [Agrarian sector of Ukraine: current state and its restoration in the conditions of transformational changes]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-8> [in Ukrainian].
13. Ekozahroza [Ecological threat]. (2024). *Vebsait – Website*. Retrieved from: <https://ecozagroza.gov.ua> [in Ukrainian].
14. Zahalni zbytky vid viiny v silskomu hospodarstvi Ukrainy siahnuly 4,3 mlrd dol. SShA [The total losses from the war in the agriculture of Ukraine reached 4.3 billion dollars]. (2022). *KSE – Kyiv School of Economics*. Retrieved from: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalni-zbitki-vid-viiny-v-silskomu-gospodarstvi-ukrayini-syagnuli-4-3-mlrd-dol-ssha-kse-agrotsentr> [in Ukrainian].
15. Zatserkovnyi, V., & Vorokh, V. (2024). Dyferentsiini tekhnologii pretsyziinoho zemlerobstva [Differential technologies of precision agriculture]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical Sciences and Technologies*, 1(35), pp. 292–301. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-292-301](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-292-301) [in Ukrainian].
16. Kozlovskiy, S.V., Hnidova, B.O., Skomarovskyi, V.V., Mokhar, D.O. (2024). Problemy rozvytku ahrarnoi haluzi v umovakh viiny v Ukraini [Problems of the development of the agricultural sector in the conditions of the war in Ukraine]. *Ahrosvit – Agroworld*, no. 11, pp. 83–93. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.11.83> [in Ukrainian].
17. Kramar, I., Baranov, K. (2024). Problemy funktsionuvannia ahropromyslovoho kompleksu Ukrainy pid chas viiny [Problems of functioning of the agro-industrial complex of Ukraine during the war]. *Formuvannia mekhanizmu zmitsnennia konkurentnykh pozysii natsionalnykh ekonomichnykh system u hlobalnomu, rehionalnomu ta lokalnomu vymirakh – Formation of a mechanism for strengthening the competitive positions of national economic systems in global, regional, and local dimensions: Zb. tez dopovidei XII Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii (16 travnia 2024 r., Ternopil)*, pp. 40–42. Ternopil: TNTU. Retrieved from: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/45138/2/FMZKP_2024_Kramar_I-Problems_of_Ukraine_agricultural_40-42.pdf [in Ukrainian].
18. Makaliuk, I., Kashpurenko, T., & Barannikov, M. (2023). Stanovyshche pidpriemstv ahrarnoho sektoru Ukrainy v umovakh viiny: finansovo-investytsiini aspekty [The position of enterprises of the agrarian sector of Ukraine in war conditions: Financial and investment aspects]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, no. 49. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-49-7> [in Ukrainian].
19. Makeienko, P. (2023). Svitove enerhospozhyvannia ta rol tsyfrovizatsii v podolanni enerhetychnoi kryzy [World energy consumption and the role of digitalization in overcoming the energy crisis]. *European Scientific Journal of Economic and Financial Innovation*, 1 (11). DOI: <https://doi.org/10.32750/2023-0114> [in Ukrainian].
20. Mizhnarodnyi silskohospodarskyi klaster “Dnister” [International agricultural cluster “Dniester”]. (2024). *Vebsait – Website*. Retrieved from: <https://dnisteragro.org.ua> [in Ukrainian].
21. Molochni pidpriemstva mozhut ne perezhyty vidkliuchen elektroenerhii [Dairy enterprises may not survive power outages]. (2022). *Vebsait – Website*. Retrieved from: <https://kurkul.com/news/31749-molochni-pidpriemstva-mojut-ne-perezhity-vidklyuchen-elektroenergiyi> [in Ukrainian].
22. Movchaniuk, A., & Diachenko, M. (2023). Ahrarnyi sektor Ukrainy v umovakh viiny [The agricultural sector of Ukraine in the conditions of war]. *Efektivna ekonomika – Effective Economy*, no. 2. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.2.32> [in Ukrainian].

23. Nehrei, M., Taranenko, A., & Kostenko, I. (2022). Ahrarnyi sektor Ukrainy v umovakh viiny: problemy ta perspektyvy [Agrarian sector of Ukraine in conditions of war: Problems and prospects]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, no. 40. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-40-38> [in Ukrainian].
24. Nepriami vtraty u silskomu hospodarstvi otsiniuiutsia u 23,3 mlrd dol. SShA [Indirect losses in agriculture are estimated at 23.3 billion dollars. USA]. (2022). *Vebsait – Website*. Retrieved from: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/nepriami-vtrati-u-silskomu-gospodarstvi-otsinyuyutsya-u-23-3-mlrd-dol-ssha> [in Ukrainian].
25. Perehuda, Yu. (2024). Ekonomichna efektyvnist tekhnolohii vyrobnytstva orhanichnykh dobryv dlia malykh ta serednikh pidpriemstv [Economic efficiency of production technologies of organic fertilizers for small and medium-sized enterprises]. *Nauka i tekhnika sohodni – Science and Technology Today*, 6 (34). DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-6\(34\)-344-354](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-6(34)-344-354) [in Ukrainian].
26. Problemy stiikosti ahrarnoho sektoru v umovakh zhorstkykh enerhetychnykh obmezhen [Problems of sustainability of the agricultural sector in conditions of severe energy restrictions]. (2023). *NISS*. Retrieved from: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/problemy-stiikosti-ahrarnoho-sektoru-v-umovakh-zhorstkykh-enerhetychnykh> [in Ukrainian].
27. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku “Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist” [Energy strategy of Ukraine for the period until 2035 “Security, energy efficiency, competitiveness”]: Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 18 serpnia 2017 roku № 605-r: veb-sait [Approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine on August 18, 2017, No. 605-r: Website]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p> [in Ukrainian].
28. Tomashuk, I., & Borboliuk, Ye. (2023). Znachennia ahrarnoho sektora ekonomiky u zabezpechenni prodovolchoi bezpeky Ukrainy [The importance of the agricultural sector in ensuring food security of Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-26> [in Ukrainian].
29. Chumachenko, O. (2022). Rol vidnovliuvalnykh dzherel enerhii u elektroenerhetychnomu balansy Ukrainy [The role of renewable energy sources in the electricity balance of Ukraine]. *Vcheni zapysky Universytetu “KROK” – Scientific Notes of KROK University*, (3) (67), 39–47. DOI: <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-67-39-47> [in Ukrainian].
30. Benli, H. (2019). Techno-economic analysis of solar greenhouses. *International Journal of Vegetable Science*, 26 (3), 249–261. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/336049359_Techno-economic_analysis_of_solar_greenhouses [in English].
31. Kalogirou, S. (2024). Solar economic analysis. *Solar Energy Engineering*, pp. 719–752. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99350-0.00004-1> [in English].
32. Mykhailenko, V., & Safranov, T. (2021). Estimation of input of unintentionally produced persistent organic pollutants into the air basin of the Odessa industrial-and-urban agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*, 22 (9), 21–31. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/141479> [in English].
33. Poleva, J. (2020). Characteristics of bottom fauna of small reservoirs of the Steppe zone of Ukraine. *Ecology and Noospherology*, 31 (2), 105–107. DOI: <https://doi.org/10.15421/032017> [in English].
34. Singh, V., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, 126, 5113–5142. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5> [in English].
35. Wind Energy Barometer. EurObserv’ER. (2023). *Vebsait – Website*. Retrieved from: <https://www.eurobserv-er.org/wind-energy-barometer-2019> [in English].

УДК 636.2:636.082.35:637.5

Крук О. П.

кандидат сільськогосподарських наук,
докторантка кафедри технологій вирибництва молока та м'яса,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: olgakruk2016@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9975-8994

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ МАРМУРОВІСТЮ ЯЛОВИЧИНИ ТА ЇЇ ЯКІСНИМИ ОЗНАКАМИ У ПОМІСНИХ БУГАЙЦІВ ВІД УКРАЇНСЬКОЇ ЧОРНО-РЯБОЇ МОЛОЧНОЇ І ГОЛШТИНСЬКОЇ ПОРІД

Анотація

У статті викладено результати дослідження взаємозв'язку між мармуровістю (вкрапленнями жиру у середині м'язів) яловичини та забійними показниками, морфологічним складом, якісними ознаками туші у помісних бугайців від корів української чорно-рябої молочної (УЧРМП) та бугаїв голштинської (Г) порід. Визначення взаємозв'язку між мармуровістю яловичини та її якісними ознаками у поширених помісей від української чорно-рябої молочної та голштинської худоби є актуальним. Метою роботи було встановлення кореляційного зв'язку між мармуровістю яловичини та морфологічним складом і якісними ознаками 26 туш від 20–22-місячних бугайців фермерського господарства (ФГ) «Журавушка» Броварського району Київської області. Забій тварин провели в забійному цеху с. Калинівка. Живу масу перед забоєм тварин визначили зважуванням їх до й після 24-годинного голодування за вільного доступу до води. Після забою тварин оцінили розвиток жирового покриву на тушах та їх конформацію (м'ясистість) туші та, згідно із системою Commission Regulation system (EC, 2008). Мармуровість *m. longissimus dorsi*, колір м'язової і жирової тканин дослідили відповідно до стандарту Japan Meat Grading Association (2000). Отримані дані свідчать про позитивно вірогідну ($P > 0,95$) кореляцію між мармуровістю яловичини і відсотком м'язової тканини ($r = 0,576$), кісток у туші ($r = 0,638$), розвитком жирової тканини на туші ($r = 0,661$), кольором яловичини ($r = 0,644$) і негативну з відсотком сухожилко і зв'язок ($r = -0,742$). Проявляється тенденція до зворотної кореляції між мармуровістю яловичини і забійним виходом (туші), відсотком м'язової тканини вищого та першого сортів, жирової тканини, площі «м'язового вічка», позитивної з відсотком м'язової тканини другого сорту, конформації (м'ясистості) туші та товщиною підшкірного жиру на них.

Отримані дані можна використовувати для сортування туші помісних бугайців від корів української чорно-рябої і бугаїв голштинської молочних порід відповідно до призначення з урахування зв'язків між мармуровістю *m. longissimus dorsi* яловичини та якісними ознаками туші.

Ключові слова: якісні ознаки туші, мармуровість яловичини, бугайці.

Вступ. Мармуровість (вміст жиру всередині м'язів) яловичини є однією з основних ознак якості туш, яку використовують для класифікації її в системах оцінювання більшості країн світу. Мармуровість є такою ознакою, яка розвивається з постійною швидкістю протягом нормального росту великої рогатої худоби за високоенергетичної годівлі [6]. Вимоги ринку до певних ознак якості туш та різниця в ціні, яку вони представляють, свідчить про необхідність включення мармуровості, кольору м'яса та жиру, сенсорних характеристик, а саме соковитості, ніжності і смаку, для оцінювання якості м'яса [5]. У дослідженнях [15] встановили, що з внутрішніх і зовнішніх ознак якості яловичини переважний відсоток (21%) становила мармуровість, за якою сербські споживачі готові були сприймати і купувати її. М'ясо голштинських корів за високого ступеня мармуровості вказує на те, що вона є недостатньо використаним потенційним джерелом високоякісної яловичини [8]. Результати досліджень [4] вказують на те, що кінцева маса та вік забою тварин є основними змінними, які пояснюють варіабельність мармуровості їхнього м'яса. Яловичина, отримана від худоби, яку відгодовували на траві, має низький рівень внутрішньом'язового жиру і високий рівень поліненасичених жирних кислот [16].

Краще розуміння кореляційного зв'язку між цими ознаками допоможе вирішити проблему виробництва якісної яловичини від великої рогатої худоби молочних порід, які поширені в країні. Тому актуальним завданням за вступу України до Євросоюзу є визначення впливу мармуровості м'яса на інші його ознаки задля стійкого виробництва яловичини від тварин молочних порід.

Мета роботи полягає у встановленні кореляційних зв'язків між мармуровістю яловичини 20–22-місячних помісних бугайців від української чорно-рябої і голштинської молочних порід та ознаками забою, морфологічним складом туш і фізико-технологічними властивостями.

Дослідження провели на 26 тушах 20–22-місячних помісних бугайців, одержаних від корів української чорно-рябої молочної породи (УЧРМ) і голштинських (Г) бугаїв у фермерському господарстві (ФГ) «Журавушка» Броварського району Київської області. Утримували їх від народження до 4-місячного віку у групі. Потім дорощували та відгодовували до забою на майданчику. Тваринам потребу у кормах забезпечували за рахунок кормової

бази господарства. Бугайцям згодовували грубі, соковиті, зелені, концентровані корми та мінеральні речовини із самогодівниць. Забій худоби провели у забійному цеху села Калинівки. Конформацію туш та покрив їх жиром-поливом оцінювали візуально після зважування відповідно до системи [7]. Конформацію туш оцінювали за шкалою з 5 класів: від Е (дуже високий розвиток м'язів) до Р (дуже низький розвиток м'язів). Для статистичного аналізу провели перетворення їх у бали від 1 (відповідає Р) до 5 (відповідає Е). Покрив туш жиром оцінювали за шкалою з п'яти класів від 1 (худя) до 5 (дуже жирна). Потім туші розпилювали навпіл, і розділяли напівтуші на рівні 12-го ребра. Колір м'язової і жирової тканин визначали, використовуючи шкали від 1 до 7 згідно з методикою [11]. Між 12-м та 13-м ребром вимірювали лінійкою товщину жиру-поливу. Мармуровість м'яса визначали відповідно до методики JMGA (2000) за 12-бальною шкалою (рис. 1).

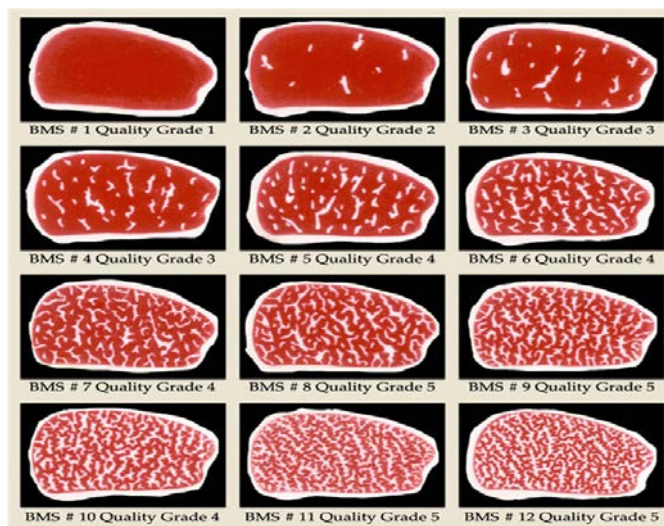


Рис. 1. Шкала оцінювання мармуровості *m. longissimus dorsi*

Джерело: [11]

Зв'язок між мармуровістю яловичини та іншими її якісними ознаками визначали за коефіцієнтами кореляції, обчисленими за відповідними методиками [3].

Виклад основного матеріалу дослідження. Показники мармуровості *m. longissimus dorsi* у помісних бугайців перебували в межах від 1 до 12 балів. Позитивна вірогідна ($P > 0,95$) кореляція існувала між мармуровістю м'яса і відносним вмістом м'язової тканини ($r = 0,576$), кісток ($r = 0,638$), а також зворотна з кількістю сухожилок і зв'язок ($r = -0,742$) (табл. 1). Проявлялася тенденція до зворотної кореляції між мармуровістю яловичини із забійним виходом ($r = -0,274$), відносним вмістом м'язової тканини вищого ($r = -0,568$) та першого ($r = -0,369$) сортів, жирової тканини ($r = -0,200$), позитивної ($r = 0,561$) з кількістю м'язової тканини другого сорту. Схожі результати отримали у дослідженнях [14], у яких встановлено, що за меншого виходу туш голштинно-фризькі помісі мали ($p < 0,05$) кращу якість харчів, ніж помісі шароле, завдяки підвищеному вмісту внутрішньом'язового жиру. Схожу тенденцію щодо позитивної кореляції між мармуровістю яловичини та вмістом у ній м'язової тканини другого сорту та кісток встановлено у нашому [1] дослідженні на 18–24-місячних чистопородних бугайцях української чорно-рябої молочної породи. Наведені у статті дані вказують на те, що схрещування корів української чорно-рябої породи з голштинно-фризькими бугаями не призводить у потомків до порушення кореляційних зв'язків між досліджуваними ознаками.

Мармуровість яловичини позитивно вірогідно ($P > 0,95$) корелює з розвитком жирового покриву на туші ($r = 0,661$) та кольором м'язової тканини ($r = 0,644$, табл. 2). У наших [2] попередніх дослідженнях також встановлено,

Таблиця 1. Кореляція між мармуровістю яловичини та відносними ознаками забою і морфологічного складу туш у помісних бугайців ($n = 26$)

Ознака	r
Забійний вихід (туші)	-0,274
М'язова тканина	0,576*
у тому числі, вищого сорту	-0,568
-//- першого сорту	-0,369
-//- другого сорту	0,561
Жирова тканина	-0,200
Сухожилки та зв'язки	-0,742*
Кістки	0,638*

* $P > 0,95$

що схрещування корів української чорно-рябої молочної породи з голштинськими бугаями впливає на збільшення яскравості кольору м'язової тканини.

Проявляється тенденція до позитивної кореляції між мрамуровістю м'яса та конформацією (м'ясистістю) туш ($r=0,399$), товщиною підшкірної жирової тканини ($r=0,487$), негативної – з площею «м'язового вічка» ($r=-0,340$). У дослідженнях [12] такі якісні ознаки туш, як площа «м'язового вічка» та колір жирової тканини, також не мали значного зв'язку з мрамуровістю яловичини.

Таблиця 2. Кореляція між мрамуровістю яловичини та абсолютними величинами якісних ознак туш у помісних бугайців (n=26)

Ознака	r
Покрив жирової тканини на туші	0,661*
Конформація (м'ясистість) туш	0,399
Товщина підшкірної жирової тканини	0,487
Колір м'язової тканини	0,644*
Колір жирової тканини на туші	0,092
Площа «м'язового вічка» <i>m. longissimus dorsi</i>	-0,340

* $P>0,95$

Подібні результати [10] довели, що високий рівень мрамуровості проявлявся за значно високих показників розвитку покриття жирової тканини на туші та товщини жиру-поливу. У дослідженнях [13] також підтверджено, що клас мрамуровості м'яса лінійно збільшувався ($p<0,05$) за товстого підшкірного жиру як у корів, так і в бугайців [9]. Не встановили зв'язку між класом класифікації туш за SEUROP та вмістом внутрішньом'язового жиру (мрамуровістю).

Таким чином, існують проблеми щодо оцінювання туш помісних бугайців (українська чорно-ряба молочна і голштинська) за мрамуровістю м'язової тканини. Якщо у світі регулюють формування мрамуровості яловичини для поліпшення її якості, то в Україні це питання недостатньо вивчене. Через це необхідно вирішувати проблему поєднання якості яловичини з якісними ознаками туш від тварин молочних порід. Дослідження у майбутньому слід спрямовувати на підвищення кількісних і якісних ознак яловичини, у тому числі сенсорних характеристик м'яса за поліпшення мрамуровості *m. longissimus dorsi* у худоби та інших м'ясних порід, оскільки це підвищить виробництво якісної і безпечної продукції.

Висновки. Проведене дослідження дало змогу дійти таких висновків.

1) Мрамуровість яловичини позитивно вірогідно ($P>0,95$) корелює з розвитком жирового покриття на туші ($r=0,661$), відносним вмістом м'язової тканини ($r=0,576$) та кісток ($r=0,638$), негативно – з кількістю сухожилок і зв'язок ($r=-0,742$).

2) Проявляється тенденція до зворотної кореляції між мрамуровістю яловичини і забійним виходом, відносним вмістом м'язової тканини вищого та першого сортів, жирової тканини, площею «м'язового вічка», позитивної з вмістом м'язової тканини другого сорту, конформацією (м'ясистістю) туш та товщиною підшкірного жиру.

3) Подальші дослідження необхідно спрямувати на вивчення залежності ознак забою тварин, морфологічного складу туш, фізико-технологічних властивостей яловичини, її хімічного складу і сенсорних показників залежно від кольору жирової тканини у тварин інших порід та їх помісей.

Список використаних джерел

1. Крук О.П., Угнівенко А.М. Мрамуровість *m. longissimus dorsi* та її зв'язок з іншими ознаками яловичини. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво*. 2024 № 3. С. 61–68. <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2024.3.7>.
2. Крук О.П., Угнівенко А.М. Забійні і м'ясні якості чистопородних і помісних бугайців української чорно-рябої молочної породи. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2024. № 1. С. 18–25. <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2024-186-1-18-25>.
3. Осадча Ю.В. Математичні методи в біології. Київ: ЦП «Компринт», 2021. 609 с.
4. Albechaalany J., Insausti K., Ellies-Oury M. P. The marbling of carcasses is determined more by the characteristics of the animals themselves than by farming practices. *Italian Journal of Animal Science*. 2024. 23 (1). P. 707–720. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2024.2330654>.
5. Brito G., Soares de Lima J. M., Del Campo M., Luzardo S., Correa D., Montossi F. The implementation of grading systems for beef carcass value differentiation: the Uruguayan experience. *Animal Frontiers*. 2024. 14 (2). P. 29–34. <https://doi.org/10.1093/af/vfae004>.
6. Bruns K.W., Pritchard R.H., Boggs D.L. The relationships among body weight, body composition, and intramuscular fat content in steers. *Journal of Animal Science*. 2004. 82 (5). P. 1315–1322. <https://doi.org/10.2527/2004.8251315x>.
7. Commission Regulation (EC). Commission Regulation (EC) № 1249/2008 of 10 December 2008 laying down detailed rules on the implementation of the Community scales for the classification of beef, pig and sheep carcasses and the reporting of prices thereof. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9716803a-8887-4956-9877-629031ec7723/language-en>. 23.11.2018.

8. Drachmann F.F., Johansen K., Kargo M., Buitenhuis A.J., Therkildsen M. Beef-on-dairy: current and potential meat quality of dairy-based beef production with culled Holstein cows and Danish Blue× Holstein crossbred calves. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section A – Animal Science*. 2024. P. 1–11. <https://doi.org/10.1080/09064702.2024.2403656>.
9. Holló G., Húth B., Holló I., Anton I. X-Ray computed tomography evaluation of intramuscular fat content in Hungarian Simmental cattle. *Acta Alimentaria*. 2018. 47 (2). P. 220–228. <https://doi.org/10.1556/066.2018.0002>.
10. Holman D.B., Gzyl K.E., Scott H., Service C., Prieto, N., López-Campos Ó. Associations between the rumen microbiota and carcass merit and meat quality in beef cattle. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2024. 108 (1). 287. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13126-1>.
11. JMGA. Beef carcass grading standard. Japan meat grading association. (2000). Tokyo, Japan. URL: https://twinwoodcattle.com/sites/default/files/publications/2017-06/TWRA120_Japan_Beef_Carcass_Grading_Standard.pdf.
12. Kruk Z.A., Pitchford W.S., Siebert B.D., Deland M.P.B., Bottema C.D.K. Factors affecting estimation of marbling in cattle and the relationship between marbling scores and intramuscular fat. *Anim. Prod. Aust.* 2002. 24. P. 129–132.
13. Lee, J.M., Choe, J.H., Jin, H.J., Kim, T.I., Park, B.Y., Hwang, D.Y., Koh, K.-Ch., Kim, Ch.-J., Hwang, K.S. Effect of marbling score on carcass grade factors, physico-chemical and sensory traits of m. Longissimus dorsi in Hanwoo. *Food Science of Animal Resources*. 2012. 32 (5). P. 659–668. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.5.659>.
14. Nusri-Un J., Kabsuk J., Binsulong B., Sommart K. Effects of Cattle Breeds and Dietary Energy Density on Intake, Growth, Carcass, and Meat Quality under Thai Feedlot Management System. *Animals*. 2024. 14 (8). 1186. <https://doi.org/10.3390/ani14081186>.
15. Simunović S., Tomasevic I., Djordjevic V. Ž., Baltić T., Simunovic S., Ćirić J., Djekic I. Meat Color, Marbling, and the Evaluation of Defects in Beef and Pork at the Point of Purchase. *Applied Sciences*. 2024. 14 (15). 6797. <https://doi.org/10.3390/app14156797>.
16. Subiabre I., Rodríguez R. A., Aldai N., Allende R., Morales R. Pasture type effects over beef quality: A comparison. *Chilean journal of agricultural research*. 2024. 84 (5). P. 620–631. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392024000500620>.

Kruk O. P.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Doctoral student at the Department of Milk and Meat Production Technologies,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine*

E-mail: olgakruk2016@ukr.net

ORCID: 0000-0001-9975-8994

RELATIONSHIP BETWEEN MARBLING OF BEEF AND ITS QUALITY TRAITS IN CROSSBRED BULLS OF UKRAINIAN BLACK-AND-WHITE DAIRY AND HOLSTEIN BREEDS

Abstract

The article presents the results of a study of the relationship between marbling (fat inclusions in the middle of the muscles) of beef and slaughter performance, morphological composition, and quality traits of carcasses in crossbred bulls from Ukrainian Black-and-White dairy cows (UBWDC) and Holstein bulls (H). Determining the relationship between the marbling of beef and its qualitative traits in widespread crossbreds from Ukrainian Black-and-White dairy and Holstein cattle is relevant. The aim of the work was to establish a correlation between the marbling of beef and the morphological composition and quality traits of 26 carcasses from 20–22-month-old bulls of the farm “Zhuravushka”, Brovary district, Kyiv region. The animals were slaughtered in the slaughterhouse of Kalynivka village. The live weight of the animals before slaughter was determined by weighing them before and after a 24-hour fast with free access to water. After slaughtering, the development of fat on the carcasses and their conformation (meatiness) were assessed according to the Commission Regulation system (EC, 2008). The marbling of m. longissimus dorsi, the color of muscle and adipose tissue were examined in accordance with the Japan Meat Grading Association standard (2000). The data obtained indicate a positive significant ($P > 0,95$) correlation between the marbling of beef and the percentage of muscle tissue ($r = 0,576$), and bones in the carcass ($r = 0,638$), the development of adipose tissue on the carcass ($r = 0,661$), the color of beef ($r = 0,644$), and negative with the percentage of tendons and ligaments ($r = -0,742$). There is a tendency for an inverse correlation between the marbling of beef and slaughter yield (carcass), the percentage of muscle tissue of the highest and first grades, adipose tissue, the area of the “muscle eye”, positive with the percentage of muscle tissue of the second grade, the conformation (meatiness) of carcasses and the thickness of subcutaneous fat on them.

The results can be used for sorting carcasses of crossbred bulls from Ukrainian Black-and-White cows and Holstein dairy bulls according to the intended purpose, taking into account the relationship between the marbling of m. longissimus dorsi beef and the quality characteristics of carcasses.

Key words: quality characteristics of carcasses, marbling of beef, bulls.

References

1. Kruk, O.P., & Uhnivenko, A.M. (2024). Marmurovist m. longissimus dorsi ta yii zviazok z inshymy oznakamy yalovychny. [Marbling of m. longissimus dorsi and its relationship with other beef traits]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Tvarnynytstvo*, (3), 61–68. <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2024.3.7>.
2. Kruk O.P., & Uhnivenko A.M. (2024). Zabiini i miasni yakosti chystoprodnykh i pomisnykh buhaitiv ukrainskoi chorno-riaboi molochnoi porody. [Slaughter and meat qualities of purebred and crossbred Ukrainian black-spotted dairy cattle]. *Zbirnyk naukovykh prats “Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktii tvarnynytstva”*, № 1. 18–25. <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2024-186-1-18-25> (in Ukrainian).

3. Osadcha, Yu.V. (2021). *Matematicalni metodi v biologii* [Mathematical methods in biology]. Kyiv. TSP “Komprynt”, P. 609. (in Ukrainian).
4. Albechaalany, J., Insausti, K., & Ellies-Oury, M. P. (2024). The marbling of carcasses is determined more by the characteristics of the animals themselves than by farming practices. *Italian Journal of Animal Science*, 23 (1), 707–720. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2024.2330654>.
5. Brito, G., Soares de Lima, J. M., Del Campo, M., Luzardo, S., Correa, D., & Montossi, F. (2024). The implementation of grading systems for beef carcass value differentiation: the Uruguayan experience. *Animal Frontiers*, 14 (2), 29–34. <https://doi.org/10.1093/af/vfae004>.
6. Bruns, K.W., Pritchard, R.H., & Boggs, D.L. (2004). The relationships among body weight, body composition, and intramuscular fat content in steers. *Journal of Animal Science*, 82 (5), 1315–1322. <https://doi.org/10.2527/2004.8251315x>.
7. Commission Regulation (EC). Commission Regulation (EC) № 1249/2008 of 10 December 2008 laying down detailed rules on the implementation of the Community scales for the classification of beef, pig and sheep carcasses and the reporting of prices thereof. Retrieved from: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9716803a-8887-4956-9877-629031ec7723/language-en>. 23.11.2018.
8. Drachmann, F.F., Johansen, K., Kargo, M., Buitenhuis, A. J., & Therkildsen, M. (2024). Beef-on-dairy: current and potential meat quality of dairy-based beef production with culled Holstein cows and Danish Blue. Holstein crossbred calves. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/09064702.2024.2403656>.
9. Holló, G., Húth, B., Holló, I., & Anton, I. (2018). X-Ray computed tomography evaluation of intramuscular fat content in Hungarian Simmental cattle. *Acta Alimentaria*, 47 (2), 220–228. <https://doi.org/10.1556/066.2018.0002>.
10. Holman, D.B., Gzyl, K.E., Scott, H., Cara Service, Prieto, N., & López-Campos, Ó. (2024). Associations between the rumen microbiota and carcass merit and meat quality in beef cattle. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108 (1), 287. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13126-1>.
11. JMGA. Beef carcass grading standard. Japan meat grading association. (2000). Tokyo, Japan. Retrieved from: https://twinwoodcattle.com/sites/default/files/publications/2017-06/TWRA120_Japan_Beef_Carcass_Grading_Standard.pdf.
12. Kruk, Z.A., Pitchford, W.S., Siebert, B.D., Deland, M.P.B., & Bottema, C.D.K. (2002). Factors affecting estimation of marbling in cattle and the relationship between marbling scores and intramuscular fat. *Anim. Prod. Aust*, 24, 129–132.
13. Lee, J.M., Choe, J.H., Jin, H.J., Kim, T.I., Park, B.Y., Hwang, D.Y., Koh, K.-Ch., Kim Ch.-J., & Hwang K.S. (2012). Effect of marbling score on carcass grade factors, physico-chemical and sensory traits of m. Longissimus dorsi in Hanwoo. *Food Science of Animal Resources*, 32(5), 659–668. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.5.659>.
14. Nusri-Un, J., Kabsuk, J., Binsulong, B., & Sommart, K. (2024). Effects of Cattle Breeds and Dietary Energy Density on Intake, Growth, Carcass, and Meat Quality under Thai Feedlot Management System. *Animals*, 14 (8), 1186. <https://doi.org/10.3390/ani14081186>.
15. Simunović, S., Tomasevic, I., Djordjevic, V.Ž., Baltić, T., Simunovic, S., Ćirić, J., & Djekic, I. (2024). Meat Color, Marbling, and the Evaluation of Defects in Beef and Pork at the Point of Purchase. *Applied Sciences*, 14 (15), 6797. <https://doi.org/10.3390/app14156797>.
16. Subiabre, I., Rodríguez, R.A., Aldai, N., Allende, R., & Morales, R. (2024). Pasture type effects over beef quality: A comparison. *Chilean journal of agricultural research*, 84 (5), 620–631. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392024000500620>.

УДК 635.656:631.526.3:581.13/14

Мулярчук О. І.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
завідувач кафедри садівництва і виноградарства,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: oksankarom777@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2072-8536

Степанченко В. М.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри садівництва і виноградарства,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: StepanchenkoV@i.ua
ORCID: 0000-0002-8619-9748

Козіна Т. В.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
асистент кафедри садівництва і виноградарства,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: tana_olena@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9376-607X

СОРТОВІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЛИСТКОВОЇ ПОВЕРХНІ І ФОТОСИНТЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РОСЛИН ГОРОХУ ОВОЧЕВОГО

Анотація

Забезпечення населення екологічно чистими продуктами харчування, багатим протеїном, має велике значення. Однією з культур, яка може відіграти вагомую роль у вирішенні цієї проблеми, є горох овочевий.

Задля підвищення і забезпечення стабільності врожайів сільськогосподарських культур, в тому числі гороху овочевого, у системі агротехнічних та організаційних заходів провідне місце належить сортовому насінню, через яке реалізується потенціальні можливості сорту, за сівби низькоякісним насінням продуктивний сорт дає низький врожай.

У статті наведено результати досліджень щодо наростання надземної маси рослин, листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу посіву, чистої продуктивності, загального і активного симбіотичного потенціалу, елементів структури врожаю, урожайності та якості насіння залежно від досліджуваних факторів. Визначено кореляційні зв'язки між цими показниками та врожайністю.

Встановлено, що найвищі показники площі листкової поверхні на початку формування бобів були отримані у сортів гороху овочевого Шервуд – 53,04 тис. м², Сієнна – 50,74, Глоріверт – 47,94, Вінко – 44,23, Вівадо – 44,28, АмалфіІ – 42,42, тоді як у контрольного сорту Луцильний – 42,49 тис. м² найменша площа листків була у сорту Амалфі – 42,42 тис. м².

Фотосинтетичний потенціал рослин гороху овочевого набував максимального значення в кінці фази цвітіння. За сортами він зростає від Вінко до Шервуд. За варіантами строків сівби залежно від температури ґрунту на глибині загортання насіння краєм був за досягнення температури 4...6°C. Аналогічна закономірність спостерігалася і за площею листя у сортів. Вона зростала від Гермеса до Селена, а серед варіантів строків сівби – за досягнення температури ґрунту на глибині загортання насіння 4...6°C.

Ключові слова: горох овочевий, площа листя, сорти, фотосинтетичний потенціал, асиміляційна поверхня, міжфазний період.

Вступ. Овочевий горох належить до культур з дуже високим ступенем утилізації врожаю. Відходи консервного виробництва (гудиння, стулки бобів, пошкоджене зерно) також являють собою цінний білковий корм для сільськогосподарських тварин.

За період вегетації гороху в ґрунті накопичується близько 60–100 кг/га азоту, що відповідає внесенню 12–15 т гною. Роль азоту в підвищенні родючості ґрунтів загальновідома. За дослідженнями Е. М. Мішустіна, навіть з розрахунком можливих максимально високих темпів росту хімічної промисловості наша країна може мати біля 30–50 кг азоту на 1 га орних земель. Зернові за врожаю 20–25 ц/га виносять з ґрунту біля 60–70 кг азоту, коефіцієнт використання мінеральних добрив складає біля 70%. Отже, задовольнити потреби сільського

господарства країни в технічному азоті в найближчих роках неможливо. Коренева ж система гороху сприятливо діє на хімічні та фізичні властивості ґрунту, переводить малопідготовлені мінеральні речовини останньої в стан, доступний для інших рослин, поглинає поживні речовини з більш глибоких шарів ґрунту.

Короткий вегетаційний період і висока біологічна активність кореневої системи гороху підвищують господарське значення цієї культури як одного з кращих попередників для інших сільськогосподарських культур. Горох рано звільняє поле, дозволяючи одержувати на зрошувальних землях другий урожай цілої низки культур [1, с. 19].

В технологіях вирощування гороху овочевого фактор сорту посідає центральне місце серед інших технологічних елементів. Основним методом інтенсифікації виробництва є адаптація технологій вирощування гороху овочевого для конкретного сорту [2, с. 13].

Нині овочевий горох вирощують більше ніж у 50 країнах, розташованих на всіх континентах світу з розвинутим землеробством. Основні площі вирощування культури зосереджені в Європі та Азії (69,6%). На частку країн Північної і Центральної Америки приходить 18,4%, Південної Америки – 6,5, Африки – 3,0, Океанії – 2,5% світових площ під овочевим горохом.

Відомо, що ріст і розвиток рослин, у тому числі гороху овочевого, залежить від наявності та засвоєння рослинами елементів живлення з ґрунту та проходження ними процесу фотосинтезу. З погіршенням проходження етапів процесу одного зі складників змінюються проходження і функції іншого, які є одним цілим процесом живлення рослини. Наростання сухої речовини, залежно від вапнування та позакореневих підживлень, сягає максимальних показників у фазі технічної стиглості [6, с. 44].

Також доведено, що фотосинтетичний потенціал сортів збільшувався впродовж усього вегетаційного періоду і залежав від сортових особливостей, внесення мінеральних добрив, проведення передпосівної обробки насіння інокулянтном, застосування комплексу мікроелементів та гідротермічних умов проведення досліджень [7, с. 90].

Також вченими на підставі комплексних досліджень встановлено, що в умовах західного Лісостепу України обробку насіння гороху овочевого сорту Гермес регуляторами росту Марс-ELBІ Марс EL (террастим) слід проводити нормами 250–350 мл/т і 0,150–0,200 л/т відповідно; в цих варіантах урожайність зерна становила 2,94–3,12 і 3,19–3,01 т/га відповідно [9, с. 90].

Найвищу врожайність зерна гороху овочевого сорту Гермес отримали у варіантах обробки насіння регуляторами росту Марс-ELBІ Марс EL (террастим) нормами 250–350 мл/т і 0,150–0,200 л/т насіння відповідно; в цих варіантах урожайність зерна становила 2,94–3,12 і 3,19–3,01 т/га відповідно [9, с. 90].

Отже, для одержання високого врожаю високої якості необхідно добирати високопродуктивні сорти відповідно до ґрунтово-кліматичних умов вирощування та додержуватись технології вирощування, за якої рослини забезпечуються всіма важливими факторами росту і розвитку. Підвищення ефективності виробництва полягає у створенні і впровадженні у виробництво нових сортів гороху овочевого, що дасть можливість значно змінити технологію їх вирощування.

Мета роботи полягає у встановленні біологічних особливостей сортів гороху овочевого, залежно від строків сівби в умовах зміни клімату; визначенні впливу погодних умов і сортових особливостей на формування листового апарату і змін динаміки, а також фотосинтетичного потенціалу рослин гороху овочевого в умовах Правобережного Лісостепу України.

Дослідження проводили впродовж 2018–2021 рр. на НДЦ «Поділля» Закладу вищої освіти «Подільський державний університет». Ґрунт характеризується такими агрохімічними показниками: вміст гумусу в шарі 0–20 см 4,2%, азоту, що гідролізується, – 7,85 мг (за Тюрніним і Коновою), рухомого фосфору – 15,3 мг (за Чирковим), обмінного калію – 21,3 мг на 100 г ґрунту (за Масловою).

Схема досліду: фактор А – Луцильний (контроль), Амалфі, Вівато, Вінко, Глоріверт, Сіенна, Шервуд; фактор Б – строк сівби 4–7 квітня, залежав від погодних умов року.

Повторність польового досліду – триразова. Розміщення варіантів і повторень – систематичне. Посівна площа ділянки – 36 м², облікова – 26 м². Попередником гороху овочевого в досліді була кукурудза на зерно.

Для вирішення поставлених завдань потрібно було провести низку спостережень, обліків і аналізів. Фенологічні спостереження за ростом та розвитком гороху проводили в основні фази росту і розвитку культури згідно з «Методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур» [6, с. 50]. Аналіз структури урожаю проводили за пробними снопами з двох несуміжних повторень. Облік урожайності проводився з кожної ділянки методом суцільного обмолоту комбайном SAMP0-500. Математичний аналіз результатів польових і лабораторних дослідів виконували за допомогою дисперсійного методу.

Виклад основного матеріалу дослідження. У формуванні органічної речовини всіх зелених рослин головним джерелом є процес фотосинтезу. Фотосинтез є головним фактором, котрий забезпечує фізичне нагромадження врожаю всіх сільськогосподарських культур у процесі виробництва продукції рослинництва. Обумовленість цього процесу є його багаторівневою організацією субпроцесів асиміляції та дисиміляції органічної речовини з простих мінеральних речовин – води та вуглекислого газу – під дією фотосинтетично-активної радіації (ФАР) [3, с. 260].

Можна дійти висновку, що інтенсивність фотосинтезу і динаміка нагромадження сухої речовини рослинної маси змінюються пропорційно до зміни показників приходу ФАР до земної поверхні, концентрації вуглекислого

газу і води. Одним з важливих шляхів підвищення продуктивності фотосинтезу є раціональне використання наявних екологічних факторів за рахунок одержування повної активно-біологічної структури посіву, яка забезпечить найбільший коефіцієнт ФАР. Найважливішими показниками фотосинтетичної діяльності рослин, що визначає продуктивність посівів, є площа листкової поверхні (ПЛ), фотосинтетичний потенціал (ФП), чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) і його господарська ефективність [4, с. 178].

Важливим показником у формуванні високої продуктивності рослин є розмір асиміляційної поверхні. Він залежить як від темпів наростання, так і від тривалості активного функціонування листків. Максимальна площа листкової поверхні визначає величину врожаю. Також є підтвердження вчених, що якщо фотосинтетична поверхня досягає найбільшого розвитку раніше цього часу, то в результаті взаємного затінення значна частина листків в нижньому ярусі підсихає і асиміляційна поверхня скорочується, що може призвести до значного зниження врожаю [5, с. 235; 10, с. 20].

Отримані результати досліджень свідчать про те, що листкова поверхня з розрахунку на одиницю площі в початковій фазі росту рослин між сортами майже не відрізнялась, а її показники перебували в межах 42,42–53,04 тис. м²/га.

Нарощення площі листків рослинами різних сортів в період вегетації чітко визначилися як сортовими особливостями, так і фазами росту. Найвищі показники площі листкової поверхні на початку формування бобів були отримані у сортів гороху овочевого Шервуд – 53,04 тис. м², Сіенна – 50,74, Глоріверт – 47,94, Вінко – 44,23, Вівадо – 44,28, АМАЛФІ – 42,42, тоді як у контрольного сорту Луцильний – 42,49 тис. м², найменша площа листків була у сорту Амалфі – 42,42 тис. м². Проміжне місце за показником площі листкової поверхні посідали сорти Вівадо – 44,28 і Вінко – 44,23 тис. м²/га. Сорти гороху овочевого Сіенна, Шервуд, Селени формували більшу площу листкової поверхні внаслідок тривалішого вегетаційного періоду, порівняно з контролем-сортом Луцильний. Зміна площі листкової поверхні в онтогенезі у всіх варіантах досліджу виражалась у вигляді прямої залежності (табл. 1).

Таблиця 1. Площа листкової поверхні рослин гороху овочевого, тис. м²/га (середнє за 2018–2021 рр.)

Сорт	Масові сходи	Цвітіння	Початок формування бобів
Луцильний (к)*	0,34	34,23	42,49
Амалфі	0,32	33,12	42,42
Вівадо	0,36	31,74	44,28
Вінко	0,39	36,73	44,23
Глоріверт	0,41	39,70	47,94
Сіенна	0,44	41,34	50,74
Шервуд	0,47	44,03	53,04

*к – контроль

На розвиток асиміляційної поверхні також впливали погодні умови за період вегетації. У 2018 р. площа асиміляційної поверхні у сортів гороху овочевого була меншою порівняно з 2019 і 2021 рр. Це пов'язано з тим, що у 2019 р. була суха весна і початок літа. Максимальна площа листкової поверхні була сформована у всіх сортів гороху овочевого у 2020 р.

Правильний вибір строку сівби є одним з найважливіших заходів, який обумовлює успіх культури овочевого гороху. Залежно від того чи іншого строку сівби, рослина може потрапляти в тому чи іншому стані свого розвитку в кращі чи гірші умови температури, живлення, вологості ґрунту і повітря.

В результаті досліджень була виявлена пряма й середня за силою зв'язку кореляція між площею листкової поверхні у фазу технічної стиглості та врожайністю гороху овочевого.

У результаті проведення обліків і спостережень було встановлено, що динаміка фотосинтетичного потенціалу у сортів гороху овочевого подібна до тієї, за якою формується площа листкової поверхні рослин (рис. 1).

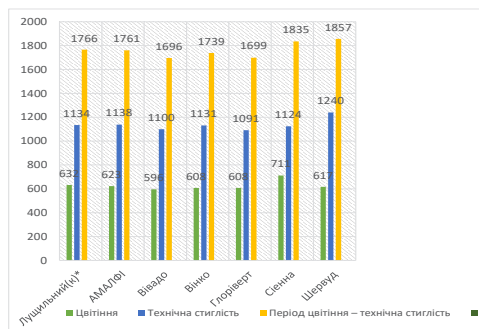


Рис. 1. Показники фотосинтетичного потенціалу гороху овочевого, тис. м²/га×діб (середнє за 2018–2021 рр.)

Площа листової поверхні на гектар характеризує фотосинтетичну потужність посівів за весь вегетаційний період або проміжок часу, що характеризує фотосинтетичний потенціал із сумою щоденних показників. Одним з найважливіших показників, з яким найчастіше корелює розмір врожаю, фотосинтетичний потенціал визначає повноцінність динаміки формування і ступінь досконалості посіву. Високопродуктивними потрібно вважати такі посіви, фотосинтетичний потенціал яких відповідає не менш як 2 млн. м² за добу з розрахунку на кожні 100 діб фактичної вегетації [21].

Показники ФП зростають від цвітіння до технічної стиглості. Максимальні показники ФП у період сходи – технічна стиглість (бобів гороху овочевого), а саме 1240 тис. м²/га×діб – формувались у сорту Шервуд. Дещо менші значення ФП у сортів Глоріверт і Вівадо – 1091 і 1100 тис. м²/га×діб відповідно, мінімальні показники фотосинтетичного потенціалу у розмірі 1134–1124 тис. м²/га×діб формували сорти Луцильний і Сієнна.

Висновки. Таким чином, продуктивність гороху овочевого визначається змінами величин фотосинтетичних потенціалів посівів, яка залежить як від фази росту та розвитку рослин, так і від сортових особливостей.

В результаті досліджень була виявлена пряма й середня за силою зв'язку кореляція між площею листової поверхні у фазу технічної стиглості та врожайністю гороху овочевого.

Подальшими дослідженнями є встановлення чистої продуктивності, структурних елементів, накопичення сухої речовини залежно від сорту та використання біологічних препаратів в умовах Правобережного Лісостепу України і встановлення найбільш продуктивних сортів для конкретних умов вирощування.

Список використаних джерел

1. Алматова В.С., Гамаюнова В.В., Онищенко С.О. Вплив мікроелементів та ризоторфіну на продуктивність гороху овочевого в умовах Херсонської області. *Таврійський науковий вісник*. 2007. Вип. 49. С. 18–21.
2. Бабич А.О., Колісник С.І., Побережна А.А. Селекція, насінництво і технологія вирощування зернобобових культур для вирішення проблеми білка. *Збірник наукових праць Луганського НАУ*. 2002. № 20/32. С. 12–14.
3. Барабаш О.Ю., Цизь О.М., Леонт'єв О.П., Гонгар В.Т. Овочівництво і плодівництво. Київ: Вища школа, 2000. 152 с.
4. Барабаш О.Ю. Овочівництво. Київ: Вища школа, 1994. 374 с.
5. Барабаш О.Ю., Семенчик П.С. Все про городництво. Київ: Вирий, 2000. 285 с.
6. Дідур І.М., Мостовенко В.В. Фотосинтетична активність гороху овочевого залежно від сортових особливостей, вапнування ґрунту та системи живлення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 19. С. 42–50.
7. Дідур І.М. Вплив вапнування та позакоренових підживлень на урожайність та якість зерна гороху в умовах Лісостепу Правобережного. *Корми і кормовиробництво*. 2011. Вип. 70. С. 86–93.
8. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур / за ред. В.В. Волкодава. Київ, 2000. 100 с.
9. Норик Н.О., Мулярчук О.І. Обробіток регуляторами росту насіння гороху овочевого (*pisum sativum* L., subspecies *gov*) в умовах Західного Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2018. Вип. 28. С. 86–93.
10. Розвадовський А.М. Інтенсивна технологія вирощування овочевого гороху. Київ: Урожай, 2000. 40 с.

Muliarchuk O. I.

*Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Horticulture and Viticulture,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: oksankarom777@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2072-8536*

Stepanchenko V. M.

*Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Senior Lecturer at the Department of Horticulture and Viticulture,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: StepanchenkoV@i.ua
ORCID: 0000-0002-8619-9748*

Kozina T. V.

*Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Assistant at the Department of Horticulture and Viticulture,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: tana_olena@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9376-607X*

**VARIETAL FEATURES OF LEAF SURFACE FORMATION
AND PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL OF VEGETABLE PEA PLANTS**

Abstract

Providing the population with ecologically clean food products rich in protein is important. One of the crops that can play an important role in solving this problem is green peas.

Increasing and ensuring the stability of crop yields, including vegetable peas, in the system of agrotechnical and organizational measures, the leading place belongs to varietal seeds, through which the potential capabilities of the variety are realized, in the case of sowing with low-quality seeds, the productive variety gives a low yield.

The article presents the results of research on the growth of above-ground mass of plants, leaf surface, photosynthetic potential of sowing, net productivity, general and active symbiotic potential, elements of crop structure, yield and quality of seeds depending on the studied factors. Correlations between these indicators and yield were determined.

It was established that the highest indicators of the leaf surface area at the beginning of the formation of beans were obtained in the varieties of vegetable peas Sherwood – 53.04 thousand m², Sienna – 50.74, Glorivert – 47.94, Vinko – 44.23, Vivado – 44.28, Amalfi – 42.42, while in the control variety Luschylymy – 42.49 thousand m², the lowest area of leaves was in the Amalfi variety – 42.42 thousand m².

The photosynthetic potential of pea plants reached its maximum value at the end of the flowering phase. By varieties, it grew from Vinko to Sherwood. According to the variants of sowing dates depending on the soil temperature at the depth of seed wrapping, it was better to reach a temperature of 4...6°C. A similar regularity was observed in terms of leaf area in the varieties, it increased from Hermes to Selene, and among the variants of the sowing dates – when the soil temperature at the depth of seed wrapping was 4...6°C.

Key words: *vegetable pea, leaf area, varieties, photosynthetic potential, assimilation surface, interphase period.*

References

1. Almatova V.S., Gamayunova V.V., Onishchenko S.O. (2007). Vplyv mikroelementiv ta ryzotorfinu na produktyvnist' horokhu ovochevoho v umovakh Khersons'koyi oblasti [The influence of trace elements and rhizothorphan on the productivity of pea in the conditions of the Kherson region]. Tavriys'kyy naukovyy visnyk – Tavriyskyi scientific bulletin, 49, 18–21 [in Ukrainian].
2. Babich A.O., Kolisnyk S.I., Poberezhna A.A. (2002). Seleksiya, nasinnystvo i tekhnolohiya vyroshchuvannya zernobovykh kul'tur dlya vyrishennya problemy bilka [Breeding, seed production and technology of growing leguminous crops to solve the protein problem]. Zbirnyk naukovykh prats' Luhans'koho NAU – Collection of scientific works of the Luhansk NAU. Luhans'k – Luhansk: LNAU, 20/32, 12–14 [in Ukrainian].
3. Barabash O.Yu., Tsyzy O.M., Leontiev O.P., Gontar V.T. (2000). Ovochivnytsvo i plodivnytsvo [Vegetable and fruit growing]. Kyiv: Vyscha shkola – Kyiv: Higher School, 152 [in Ukrainian].
4. Barabash O.Yu. (1994). Ovochivnytsvo [Vegetable growing]. K.: Vyscha shkola – K.: Higher school, 374 [in Ukrainian].
5. Barabash O.Yu., Semenchuk P.S. (2000). Vse pro horodnytsvo [All about gardening]. K: Vyryy – K: Vyryy, 285 [in Ukrainian].
6. Didur I.M., Mostovenko V.V. (2020). Fotosyntetychna aktyvnist' horokhu ovochevoho zalezno vid sortovykh osoblyvostey, vapnuvannya hruntu ta systemy zhyvlennya [Photosynthetic activity of green peas depending on varietal characteristics, soil liming and nutrition system]. Sil's'ke hospodarstvo ta lisivnytsvo – Agriculture and forestry. Vinnytsya: VNAU – Vinnytsia: VNAU, 19, 42–50 [in Ukrainian].

7. Didur I.M. (2011). Vplyv vapnuvannya ta pozakorenyvykh pidzhyvlen' na urozhaynist' ta yakist' zerna horokhu v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [The influence of liming and foliar fertilization on the yield and quality of pea grain in the conditions of the Pravoberezhny Forest-Steppe]. *Kormy i kormovyrobnytstvo – Fodder and fodder production*, 70, 86–93 [in Ukrainian].

8. Volkodav V.V. (2000). *Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannya sil's'kohospodars'kykh kul'tur* [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Kyiv, 100 [in Ukrainian].

9. Noryk N.O., Mulyarchuk O.I. (2018). Obrobitok rehulyatoramy rostu nasynnya horokhu ovochevoho (pisum sativum l., subspecium commune gov) v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrayiny [Treatment with seed growth regulators of pea (pisum sativum l., subspecium commune gov) in the conditions of the Western Forest Steppe of Ukraine]. *Podil's'ky visnyk: sil's'ke hospodarstvo, tekhnika, ekonomika – Podilsky Visnyk: agriculture, technology, economy. Kam'yanets'-Podil's'ky – Kamianets-Podilskyi*, 28, 86–93 [in Ukrainian].

10. Rozvadovsky A.M. (2000). *Intensyvna tekhnolohiya vyroshchuvannya ovochevoho horokhu* [Intensive technology of growing vegetable peas]. Kyiv Urozhay – Kyiv: Harvest, 40 [in Ukrainian].

УДК 633.88: 582.998.1:631.582.559

Овчарук В. І.

заслужений діяч науки і техніки України,
доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри садівництва і виноградарства,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Камянець-Подільський, Україна
E-mail: plspg@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2115-0916

Падалко Т. О.

доктор філософії зі спеціальності 201 «Агрономія»,
асистент кафедри садівництва і виноградарства,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Камянець-Подільський, Україна
E-mail: krivapadalko@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9299-3721

**ВПЛИВ МІКРОДОБРІВ НА УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ
ВЕГЕТАТИВНОЇ МАСИ І КОРЕНЕВИЩА З КОРЕНЯМИ РОСЛИН
ЕХІНАЦЕЇ ПУРПУРОВОЇ (*ECHINACEA PURPUREA (L.) MOENCH.*)
В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Анотація

У статті за результатами наукових досліджень 2021–2023 рр. висвітлено сутність внесення мікроелементів та застосування їх в ґрунті, які мають однакову валентність і здатність частково змінюватися, тому важливим досягненням було визначення функції мікроелементів, а також безпечне застосування їх на рослинах ехінацеї пурпурової сортів «Чарівниця» і «Поліська красуня». Ґрунти Правобережного Лісостепу України бідні на мікроелементи, їхня кількість залежить від ступеня опідзоленості, механічного складу ґрунту і вмісту гумусу, який доволі низький – 1,97%. Підтверджено, що ехінацея пурпурова вимоглива до мікроелементів, таких як бор, цинк, мідь, марганець, молібден, кобальт, на протистояння до несприятливих погодних умов, вилітання і засухи. Встановлено, що мікроелементи відіграли важливу роль у формуванні врожаю рослин досліджуваної культури. Молібден з урожайністю вегетативної маси в середньому 687 г з посудини вище контрольного варіанта на 162 г, кореневищ з коренями – 598 – 135 г (отримали за результатами досліджень у сорту Чарівниця). Аналогічні показники за врожайністю кореневищ з коренями 578 г, що на 244 г вище контролю спостерігалися в сорту Поліська красуня. За хімічними показниками найвищий вміст етерної олії вегетативної маси 0,28% та цикорієвої кислоти 1,3% забезпечив сорт Чарівниця. Різниця між сортами була невеликою. Дослідження дають змогу дійти висновку, що в умовах Правобережного Лісостепу України можна вирощувати ехінацею пурпурову на ґрунтах, бідних на ці мікроелементи, що регулювало якість сировини шляхом їх внесення.

Ключові слова: ехінацея пурпурова, технологія вирощування, мікроелементи, урожайність, якість.

Вступ. У сучасних технологіях вирощування сільськогосподарських культур дедалі більшого значення набувають методи культивування, що базуються на екологічно безпечних технологіях. Це пов'язано з тим, що внесення високих доз мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин без достатнього наукового обґрунтування та з порушенням технології застосування може мати вкрай небезпечні екологічні наслідки, що неприпустимо у вирощуванні та заготівлі лікарських рослин. Мікробіологічні препарати в разі їх застосування в сучасних технологіях відіграють суттєве значення в процесі формування урожаїв, тому рослина за повноцінного комплексу мікроорганізмів одержує необхідне кореневе живлення, внаслідок чого реалізовує свій генетичний потенціал стосовно врожаю та якості сировини [3].

Для ефективного використання біологічного потенціалу лікарської рослинної сировини ехінацеї пурпурової, сорту і природньо-кліматичних умов Правобережного Лісостепу України проводились експериментальні дослідження з вивчення впливу мікроелементів на врожайність і якість цінної продукції лікарської сировини. Представлені результати досліджень актуальні у сфері науки та виробництва. Вони полягають у науковому, теоретичному і практичному застосуванні основних мікроелементів, які базуються на основі синтезу закономірностей формування продуктивності та показників якості лікарської сировини. Це сприяло максимально можливій реалізації потенціалу рослин ехінацеї пурпурової та ефективному використанню доступних природних ресурсів зони вирощування [6].

Рід Ехінацея (*Echinacea Moench.*) – рід багаторічних трав'янистих рослин родини айстрових (*Asteraceae*), що об'єднує 9 видів, використовується у медицині, ветеринарії, тваринництві, кормовиробництві, харчовій і косметичній промисловості, сировиною для переробки якої є надземна частина і кореневища з коренями. Пагони другого року вегетації сягають висотою до 100 см. Стебла прямостоячі, міцні, тонкоробристо-борозенчасті, галузисті, знизу голі, гладенькі, а вгорі здебільшого розсіяно вкриті короткими жорсткими волосками. Під кошиками суцвіть пагони потовщені, листорозміщення почергове, листки овально-яйцеподібної форми. Довжина їх сягає від 7,5 до 20 см та 2,5–7,5 см завширшки. Здебільшого 3–5-жилкові, коротко загострені або з відтягнутою верхівкою, до основи поступово звужені, по краю – дрібнозрубчато-зубчасті. Квітки зібрані у суцвіття – кошики, котрі поодинокі розміщені на кінцях стебел та гілок. Під час цвітіння суцвіття досягають 10–12 см в діаметрі, квітколоже конічне. Крайові квітки в кошику двоязичкові (пурпурові різних відтінків, темно-червоні або жовті), неплідні, їх у кошику 12–30 штук, вони сягають 3,5–7,5 см завдовжки і 5–7 см завширшки. Період цвітіння становить близько 30 діб. Середні квітки трубчасті, двостатеві, плодоносні та мають короткий 5-зубчастий відгин. Сім'янки довгасто-циліндричні з чотирма тонкими реберцями. Оплідень нещільний, крихкий, розтирається і вивільняє насіння, яке має великий вміст олії. За тривалістю циклу розвитку вона належить до багаторічних рослин із зимуючими моноциклічними пагонами [7].

Вагомого значення в процесі росту і розвитку рослин ехінацеї пурпурової набуває мікроелемент цинк, особливо під час формування насіння, впливає на синтез цукрози, крохмалю, вмісту аскорбінової кислоти, сухої речовини і хлорофілу в листках рослин, підвищує засухо- і холодостійкість. Потрібен для правильної роботи ферментативної системи рослини, бере участь у роботі багатьох ферментів, є учасником синтезу нуклеїнових кислот та метаболізму. Форма добрив цієї групи – цинк сірчанокислий ($ZnSO_4$), який містить 24% цинку, в досліді вносили в ґрунт під оранку, виконавши обприскування [3].

Мікроелемент бор є другим після цинку, він впливає на ріст та розвиток меристематичної тканини, переміщення вуглеводів від зеленої маси до репродуктивної та кореневої систем, на процес запилення та запліднення квіток, визначає кількість насіння та плодів. Багаторічні рослини обробляють впродовж всієї вегетації, внесення мікроелемента здійснювали в міжряддя для посіву. Окрім цього, борний суперфосфат (BSO_4) простий і подвійний з 0,3% бору, зокрема регулює процеси синтезу та транспортування вуглеводів. За достатньої кількості бору відбувається краще засвоєння рослинами кальцію, азоту, фосфору, а також оптимізація процесів синтезу амінокислот та білків.

Мікроелементний молібден відіграє важливу фізіологічну роль, а також потрібний для нормального росту і розвитку рослин. Рослина поглинає елемент у формі молібденового суперфосфату ($MoSO_4$), простий і подвійний з кількістю зазначеного елемента до 0,2%, це найбільш поширена форма в ґрунтах з рН 5 і вище, тому здійснювали вапнування ґрунту, а потім розсипали в рядках.

Мікроелемент мідь бере активну участь у вуглеводному і білковому обміні і синтезі білків, жирів та вуглеводів. Також відіграє важливу роль у процесах фотосинтезу. Використовували мідний купорос ($CuSO_4$), що містить 25% міді, здійснювали листкове підживлення. Мідь несе відповідальність за стійкість культури до посухи за знижених показників температурного режиму і вилягання посівів, стресових умов середовища та багатьох захворювань.

Марганець – один з дев'яти основних поживних речовин, які рослини потребують для росту. Сульфат марганцю ($MnSO_4$) містить 32% марганцю в складі. Застосовували підживлення та обприскування зеленої маси для сприяння ростовим процесам, нормального розвитку рослин та урожайності.

Велике значення відіграє мікроелемент кобальт, який активує ферменти, бере участь у синтезі хлорофілу, сприяє накопиченню вуглеводів і жирів, стимулює біосинтез нуклеїнових кислот і аскорбінової кислоти, підвищує інтенсивність дихання. Внесення мікроелемента під оранку передбачає внесення 0,03–0,05 г/м² сульфату кобальту ($CoSO_4$), позакореневого підживлення розчину 0,02–0,05% концентрації. Слід також пам'ятати, що кобальт позитивно впливає на ріст бульбочкових бактерій. Кобальт покращує засвоєння рослинами азоту, фосфору, калію і магнію та обмежує поглинання важких металів, прискорює цвітіння, підвищує стійкість рослини.

Мета роботи полягає у науково-практичній оцінці мікроелементів і обґрунтуванні їх застосування з вивченням підвищення врожайності та якості лікарської сировини ехінацеї пурпурової і розробленні заходів для оптимізації експериментальних досліджень.

В умовах ФОП «Прудивус» впродовж 2021–2023 рр. проводилися вегетаційні дослідження з вивчення впливу мікроелементів на врожайність і якість лікарської сировини ехінацеї пурпурової (*Echinacea purpurea (L.) Moench.*) на чорноземі важкосуглинковому та лесовидному сулинку в триразовій повторюваності, сортів «Чарівниця» і «Поліська красуня», що занесені до Реєстру сортів України [2] як високопродуктивні до 9,28 т/га, кореневищ з коренями – 2,31 т/га, а насіння – 0,35 т/га. Норма висіву становила 10 кг/га за широкорядної сівби 45 см.

Технологія вирощування включала осінню підготовку ґрунту: лущення стерні, внесення мінеральних добрив, оранку на глибину 22–25 см, суцільні культивування та весняну підготовку. В 1-й рік вирощування проводили боронування ґрунту в 2 сліди, передпосівну культивування, прикочування ґрунту, посів, міжрядні обробки ґрунту, ручні прополки, а в 2-й рік – міжрядні обробки ґрунту, ручні прополки, збирання трави, коріння з кореневищами та сушіння. Траву збирали у фазі масового цвітіння, і тільки на другий рік вегетації збирали два врожаї (сировина в фазі масового цвітіння та кореневища з коренем) [4; 10].

Для вегетаційного досліджу в посудини насипали ґрунт із розрахунку 10 кг чорнозему важкосуглинкового. Мікроелементи вносили в ґрунт малій кількості: бору – 1,0 мг; цинку – 2,5 мг; міді – 0,5 мг; марганцю – 5,0 мг; молібдену – 1,0 мг; кобальту – 1,0 мг діючої речовини на кілограм ґрунту. У підготовлений ґрунт посудини висівали на 100 насінин ехінацеї пурпурової в першій декаді травня. Впродовж вегетаційного періоду проводили фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин. Вологість ґрунту підтримували у параметрах 60% від повної вологоємності за допомогою зважування посудини, за потреби зволожували дистильованою водою. У фазі третього листка на рослині проводили формування рослин (проривали), залишаючи на посудину 10 рослин. Збір вегетативної маси з верхівками стебел і листками та квітками проводили, коли рослини досягали висоти 35–40 см, кореневища з коренями збирали на другий рік вегетації рослин після перезимівлі рослин в посудинах ранньою весною в теплому приміщенні. Кореневища очищали, висушували і зважували. Зібрану вегетативну масу з кореневищами використовували для визначення зміни вмісту хімічного складу від внесення мікроелемента [5; 9].

Відповідно до стандартів ФСЗ ДФУ, 2.0, 3 т. (п. 2.2.32, ст. 96), сировина ідентифікується за такими показниками: 1. Ідентифікація А. Зовнішній вигляд (опис). 2. Ідентифікація В. Мікроскопія. 3. Ідентифікація С та Е. (метод тонкошарової хроматографії для визначення етерної олії). Для визначення флавоноїдів використовується спектрофотометрична (СФ) методика – реакція комплексоутворення виділених в результаті кислотного гідролізу і екстракції етилацетатом агліконів з алюмінію хлоридом і розрахунком вмісту флавоноїдів у перерахунку на кверцетин. Для визначення цикорієвої кислоти – Монографія «Ехінацея пурпурова корені» N (перерахунок на цикорієву кислоту) [1].

Виклад основного матеріалу дослідження. Мікродобрива на чорноземі важкосуглинковому в середньому за три роки одержали підвищену схожість насіння на 1,2–1,4%. Сходи ехінацеї пурпурової виявились дружніми за рахунок високим фізичним властивостям ґрунту із застосуванням мікроелементів, що вплинуло на врожайність (табл. 1).

Таблиця 1. Вплив мікродобрив на урожайність вегетативної маси кореневищ з коренями рослин ехінацеї пурпурової, г (*Echinacea purpurea* (L.) Moench.)

Мікроелемент	Сорт			
	Чарівниця		Поліська красуня	
	вегетативна маса	кореневище з коренями	вегетативна маса	кореневище з коренями
Середнє за 2021–2022 рр.				
Контроль (дистильована вода)	525	440	385	334
Бор (В)	545	463	415	405
Цинк (Zn)	665	540	435	456
Мідь (Cu)	609	569	551	510
Марганець (Mn)	608	566	495	555
Молібден (Mo)	687	598	580	578
Кобальт (Co)	669	500	569	512
НІР _{0,5}	1,21	1,14	1,12	1,13
Середнє за 2022–2023 рр.				
Контроль (дистильована вода)	546	455	468	381
Бор (В)	566	528	553	478
Цинк (Zn)	610	553	587	452
Мідь (Cu)	609	560	593	509
Марганець (Mn)	678	561	617	578
Молібден (Mo)	680	573	648	601
Кобальт (Co)	658	560	615	573
НІР _{0,5}	1,22	1,15	1,17	1,16

Результатами досліджень встановлено, що врожайність вегетативної маси сорту Чарівниця за 2021–2022 рр. із внесенням мікроелементу бор на чорноземі важкосуглинковому, де органічних добрив не вносили під попередник, становила 545 г, що вище контролю на 20 г і кореневища – 27 г. Із застосуванням цинку відзначено також підвищення врожайності: вегетативної маси 566 г, кореневищ з коренями 540 г, що вище контрольного варіанту на 41 г і 100 г відповідно. Внесення мікроелементів міді, марганцю, молібдену і кобальту також дали підвищені врожайні вегетативної маси і кореневищ. Серед них виділяються мікроелемент молібден з урожайністю вегетативної маси в середньому 687 г з посудини, що вище контрольного варіанта на 162 г, кореневищ з коренями – 598 – 135 г.

У сорту Поліська красуня спостерігається така ж закономірність від застосування мікроелементів на врожайність вегетативної маси і кореневищ. З найвищим показником врожайності вегетативної маси виділяється мікроелемент молібден з урожайністю 580 г з посудини, що на 185 г вище контрольного варіанта. Аналогічні показники за врожайністю кореневищ з коренями 578 г, що на 244 г вище контролю.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що показники врожайності вегетативної маси і кореневищ з коренями від внесення мікродобрив у 2022–2023 рр. мало чим відрізнялися, незалежно від сортів. Із мікроелементів виділявся молібден з урожайністю вегетативної маси 680 г і кореневищ з коренями 573 г сорту Чарівниця. Аналогічні показники сорту Поліська красуня становили 648 г (вегетативна маса) і 601 г (кореневища з коренями) з посудини відповідно.

Макроскопічні та мікроскопічні дослідження показали, що більшість наявних серій сировини відповідала вимогам ЄФ і АНД за наявними ознаками, використовуючи цю методику, при цьому ідентифікували 2 основні класи БАР сировини, а вміст суми кислоти цикорієвої – не менше 0,5% [1; 8; 11].

Слід зазначити, що внесення мікроелементів в ґрунт вплинуло деякою мірою на зміну хімічного складу лікарської рослинної сировини (табл. 2).

Таблиця 2. Вплив мікроелементів на хімічний склад вегетативної маси кореневищ з коренями рослин ехінацеї пурпурової, % (*Echinacea purpurea* (L.) Moench.)

Мікроелемент	Сорт											
	Чарівниця						Поліська красуня					
	вегетативна маса			кореневище з коренями			вегетативна маса			кореневище з коренями		
	суха речовина	етерна олія	флавоноїди, в перерахунку на кверцетин	суха речовина	етерна олія	цикорієва кислота	суха речовина	етерна олія	флавоноїди, в перерахунку на кверцетин	суха речовина	етерна олія	цикорієва кислота
Середнє за 2021–2022 рр.												
Контроль (дистильована вода)	10,6	0,13	0,48	9,4	1,2	1,7	9,8	0,12	0,47	9,5	1,1	1,5
Бор (В)	10,8	0,16	0,49	9,4	1,3	2,4	9,9	0,15	0,49	9,5	1,2	2,3
Цинк (Zn)	10,8	0,21	0,50	9,5	1,4	2,4	9,8	0,19	0,50	9,6	1,3	2,3
Мідь (Cu)	10,9	0,17	0,51	9,5	1,2	2,5	9,7	0,17	0,49	9,5	1,2	2,4
Марганець (Mn)	10,7	0,22	0,49	9,7	1,3	2,6	9,9	0,20	0,51	9,7	1,3	2,3
Молібден (Mo)	11,0	0,25	0,52	9,6	1,3	2,8	9,8	0,24	0,53	9,6	1,4	2,5
Кобальт (Co)	11,1	0,26	0,54	9,7	1,5	2,6	9,6	0,25	0,54	9,6	1,3	2,5
V, %	1,58	24,15	4,11	1,33	8,13	7,65	1,09	24,76	4,84	0,79	8,70	4,81
Середнє за 2022–2023 рр.												
Контроль (дистильована вода)	10,6	0,13	0,48	9,4	1,2	1,7	9,8	0,12	0,47	9,5	1,1	1,5
Бор (В)	11,2	0,18	0,50	9,7	1,3	2,2	10,0	0,14	0,48	9,7	1,2	2,3
Цинк (Zn)	11,1	0,22	0,49	9,4	1,4	2,3	9,9	0,18	0,50	9,8	1,2	2,4
Мідь (Cu)	11,4	0,19	0,52	9,5	1,3	2,5	9,8	0,17	0,50	9,8	1,3	2,4
Марганець (Mn)	11,2	0,23	0,50	9,7	1,4	2,4	10,0	0,21	0,51	9,2	1,4	2,5
Молібден (Mo)	11,5	0,27	0,53	9,8	1,4	2,9	9,9	0,25	0,53	9,6	1,4	2,5
Кобальт (Co)	11,5	0,28	0,54	9,9	1,6	2,7	10,1	0,26	0,55	9,7	1,5	2,6
V, %	2,79	24,52	4,31	1,88	9,14	10,73	1,12	27,85	5,46	2,20	10,87	5,57

Вміст етерної олії сорту Чарівниця в квіткових кошиках коливався в межах 0,13–0,28% за дворічними показниками. На відміну від сорту Поліська красуня, показники були дещо нижчі до 1%, оскільки цей сорт призначений для розсадного способу вирощування. Показники цикорієвої кислоти сортів рослини ехінацеї пурпурової в кореневищах з коренями перебували в межах 0,2–1,3%. Також містяться фенольні сполуки (флавоноїди, в перерахунку на кверцетин), суха речовина, зола та смоли, що дало змогу оцінити якісні показники на рівні ДФУ. Найвищі якісні показники були відзначені під час внесення мікроелементів кобальту та молібдену сорту Чарівниця: етерна олія вегетативної маси – 0,26%, кількість флавоноїдів в перерахунку на кверцетин – 0,54% за 11% сухої речовини в залишку. Рослини роду ехінацея характеризуються високим вмістом похідних цикорієвої кислоти, вміст якої змінювався від строку, терміну, способу культивування і фази вегетації та становив 1,3%, що є доволі результативним.

Висновки. Проведено дослідження, що дало змогу встановити основні закономірності застосування мікроелементів під культуру задля одержання високої врожайності і якості лікарської сировини на ґрунтах, бідних на ці мікроелементи, що компенсувалось шляхом їх внесення. Отримано підвищену врожайність вегетативної маси сорту Чарівниця за внесення мікроелемента молібден, в середньому з посудини – 687 г і кореневищ з коренями – 598 г. У сорту Поліська красуня спостерігали також закономірність від застосування мікроелемента молібден з урожайністю вегетативної маси 580 г, кореневищ з коренями 578 г з посудини. З'ясовано, що від застосування мікроелементів підвищився вміст хімічного складу вегетативної маси і кореневищ з коренями ехінацеї

пурпурової сорту Чарівниця. Вміст сухої речовини вегетативної маси коливався в межах 10,7–11,5%, вміст етерної олії сягав 0,28%, флавоноїдів – 0,48–0,54%, а в кореневищах з коренями показник цінної цикорієвої кислоти становив в середньому 0,8%.

Перспективою подальших досліджень є розроблення шляхів реалізації визначених агротехнічних вимог на створення ефективної технології вирощування культури, що сприятиме урожайності в перший рік вегетації, що має економічні переваги і дасть змогу окупити затрати та регулювання якості вмісту біологічно цінних сполук.

Список використаних джерел

1. Державна Фармакопея України. Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2-ге вид. Доповнення 7. Харків, 2024. Т. 1. 296 с. ISBN 978-617-95285-1-4.
2. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Міністерство аграрної політики та продовольства України. *Офіційний перелік сортів, придатних для поширення в Україні*. 2024. URL: <https://data.gov.ua/dataset/ccf95f4a-8238-4b18-a4d3-002444876325> (дата звернення: 5.09.2024).
3. Максін В.І. Мікродобрива в рослинництві. *Агроном*. 2023. № 2 (80). URL: <https://www.agronom.com.ua/mikrodobryva-vroslynnytstvi-vchora-sogodni-zavtra>.
4. Методи аналізу в агрономії та агроекології: навчальний посібник / О.В. Овчарук, В.І. Овчарук. Кам'янець-Подільський, 2019. 361 с. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/9019>.
5. Міщенко О.В., Поспелов С.В. Корекція посівних якостей насіння ехінацеї стимуляторами росту природного походження. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. № 38. С. 33–38. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.5>.
6. Міщенко І.А. та ін. Ефективність органічного землеробства у лікарському рослинництві на прикладі Ехінацеї пурпурової другого року вирощування. *Перспективні напрямки наукових досліджень лікарських та ефіроолійних культур: матеріали II Всеукр. наук.-прак. конф. молодих вчених.*, м. Лубни 20–21 липня 2017 р. ДСРЛ ІАП НААН. Лубни, 2017. 163 с.
7. Омелянова В.Ю., Котовська Ю.С. Ботанічна характеристика та агробіологічні особливості ехінацеї пурпурової в контексті використання виду для міського озеленення в умовах південного Степу України. *Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Вип. 73. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2020. С. 184–188.
8. Padalko T., Pantsyeva H., Tkach O., Tkach L., Ovcharuk O., Ovcharuk V., and O. Amorcite. Influence of feeding area on development, productivity and nutritional value of chicory. *Agronomy Research*. 2024. Vol. 22 (1). P. 301–312. URL: <http://hdl.handle.net/10492/8834>. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.24.001>.
9. Поспелов С.В. Посівні якості насіння лікарських рослин залежно від їх стратифікації. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 1. С. 156–162. DOI: 10.31210/visnyk2021.01.19.
10. Semenکو M., Pospelov S. Advantages of the seedling method of cultivation in medicinal plant production. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. Vol. 26 (4). P. 36–40. DOI: 10.31210/spi2023.26.04.07.
11. Soltanbeigi A., Maral H. Agronomic yield and essential oil properties of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L. Moench) with different nutrient applications. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*. 2022. Vol. 38 (2). P. 164–175. DOI: <https://doi.org/10.29393/CHJAA38-16AYAH20016>.

Ovcharuk V. I.

*Honored Worker of Science and Technology of Ukraine,
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Professor at the Department of Horticulture and Viticulture,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: plspg@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2115-0916*

Padalko T. O.

*Doctor of Philosophy in specialty 201 "Agronomy",
Assistant at the Department of Horticulture and Viticulture,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: krivapadalko@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9299-3721*

INFLUENCE OF OF MICROFERTILIZERS ON THE YIELD AND QUALITY OF VEGETATIVE MASS AND RHIZOMES WITH ROOTS OF ECHINACEA PURPUREA (L.) MOENCH. PLANTS IN THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

Abstract

The article, based on the results of scientific research in 2021–2023, highlighted the essence of adding trace elements and their use in the soil, which have the same valence and the ability to partially change, therefore, an important achievement was the

determination of the function of trace elements and their safe use on Echinacea plants of purple varieties “Charivnytsia” and “Polish Beauty”. The soils of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine are poor in trace elements, their amount depends on the degree of podzolenization, the mechanical composition of the soil and the content of humus, which is quite low – 1.97%. It has been confirmed that Echinacea purple is demanding of trace elements such as boron, zinc, copper, manganese, molybdenum, cobalt, to withstand adverse weather conditions, lodging and drought. It was established that the effectiveness of the use of microelements played an important role in the formation of the plant yield of the studied culture. Molybdenum with the yield of vegetative mass on average, 687 g from the vessel, is higher than the control variant by 162 g, rhizomes with roots – 598 – 135 g were obtained according to the results of research in the Charivnytsia variety. Similar indicators for the yield of rhizomes with roots of 578 g, which is 244 g higher than the control, were observed in the Poliska krasunya variety. According to chemical parameters, the highest content of essential oil of vegetative mass 0.28% and chicory acid 1.3% was provided by Charivnytsia variety. The difference between varieties was small. Research allows us to conclude that in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine, it is possible to grow Echinacea purple on soils poor in these microelements, which regulated the quality of raw materials by applying them.

Key words: Echinacea purpurea, growing technology, trace elements, productivity, quality.

References

1. Derzhavna Farmakopeia Ukrainy. (2024). [State Pharmacopoeia of Ukraine]. *Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyi tsentr yakosti likarskykh zasobiv – State enterprise “Ukrainian Scientific Pharmacopoeia Center for the Quality of Medicinal Products”*. 2nd edition Supplement 7. Kharkiv. Vol. 1. 296 p. ISBN 978-617-95285-1-4 [in Ukrainian].
2. Derzhavnyi reistr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini. (2024). [State register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine]. Ministerstvo aharnoi polityky ta prodovolstva Ukrainy – *Official list of varieties suitable for distribution in Ukraine*. URL: <https://data.gov.ua/dataset/ccf95f4a-8238-4b18-a4d3-002444876325> (date of application: 5.09.2024) [in Ukrainian].
3. Maksin V.I. (2023). Mikrodobryva v roslynnytstvi [Microfertilizers in crop production]. *Ahronom – Agronomist*. May. No. 2 (80). 10 c. URL: <https://www.agronom.com.ua/mikrodobryva-vroslynnytstvi-vchora-sogodni-zavtra> (date of application: 10.09.2024) [in Ukrainian].
4. Ovcharuk O.V., Ovcharuk V.I., Ovcharuk O.V. (2019). *Metody analizu v ahronomii ta ahroekologii: navch. posib. [Methods of analysis in agronomy and agroecology: teaching]*. Kamianets-Podilskiy. 361 p. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/9019> [in Ukrainian].
5. Mishchenko O.V. & Pospelov S.V. (2023). Korektsiia posivnykh yakosteï nasinnia ekhinateï stymuliatoramy rostu pryrodnoho pokhodzhennia. [Correction of sowing qualities of echinacea seeds with growth stimulants of natural origin]. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка – Podilskyi Visnyk: agriculture, technology, economy*. No. 38. P. 33–38. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.5> [in Ukrainian].
6. Mishchenko, I.A. (2017). Efektyvnist orhanichnoho zemlerobstva u likarskomu roslynnytstvi na prykladi Ekhinateï purpurovoi druhoho roku vyroshchuvannia [Effectiveness of organic farming in medicinal plant production on the example of Echinacea purple in the second year of cultivation]. *Perspektyvni napriamky naukovykh doslidzen likarskykh ta efirooloiinykh kultur. Materialy II Vseukr. nauk.-prak. konf. molodykh vchenykh Lubny (Berezotocha, 20–21 lyp. 2017 r.) – Prospective directions of scientific research of medicinal and essential oil crops. Materials II All-Ukrainian. science-practice conf. of young scientists of Lubna (Berezotocha, July 20–21, 2017); Lubny*. 163 p. [in Ukrainian].
7. Omelyanova V.Yu. & Kotovska Yu.S. (2020). Botanichna kharakterystyka ta ahrobiolohichni osoblyvosti ekhinateï purpurovoi v konteksti vykorystannia vydu dlia miskoho ozelenennia v umovakh pivdennoho Stepu Ukrainy. [Botanical characteristics and agrobiological features of Echinacea purple in the context of the use of the species for urban landscaping in the conditions of the southern Steppe of Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo: mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk. Kherson: Vydavnychiy dim “Helvetyka” – Irrigated agriculture: interdepartmental thematic scientific collection*. Issue 73. (pp. 184–188). Kherson: “Helvetika” publishing house [in Ukrainian].
8. Padalko T, Pansyreva H., Tkach O., Tkach L., Ovcharuk O., Ovcharuk V. et al. (2024). Influence of feeding area on development, productivity and nutritional value of chicory. [Influence of feeding area on development, productivity and nutritional value of chicory]. *Agronomy Research*. 2024. Vol. 22 (1). P. 301–312. <http://hdl.handle.net/10492/8834>; <https://doi.org/10.15159/AR.24.001> [in English].
9. Pospelov S.V. et al. (2021). Posivni yakosti nasinnia likarskykh roslyn zalezho vid yikh stratyfikatsii. [Sowing quality of seeds of medicinal plants depending on their stratification]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi aharnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*. No. 1. P. 156–162. DOI: 10.31210/visnyk2021.01.19.
10. Semenko, M., & Pospelov, S. (2023). Advantages of the seedling method of cultivation in medicinal plant production. [Advantages of the seedling method of cultivation in medicinal plant production.]. *Scientific Progress & Innovations*. 26 (4), 36–40. DOI: 10.31210/spi2023.26.04.07 [in English].
11. Soltanbeigi, A., & Maral, H. (2022). Agronomic yield and essential oil properties of purple coneflower (Echinacea purpurea l. moench) with different nutrient applications. [Agronomic yield and essential oil properties of purple coneflower (Echinacea purpurea l. moench) with different nutrient applications]. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*. 38 (2). P. 164–175. <https://doi.org/10.29393/CHJAA38-16AYAH20016> [in English].

УДК 632.4: 635.21

Плотницька Н. М.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології,
Поліський національний університет
Житомир, Україна
E-mail: plotnat@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7758-1307

Невмержицька О. М.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології,
Поліський національний університет
Житомир, Україна
E-mail: onevmerzhitska@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2024-9316

Гурманчук О. В.

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології,
Поліський національний університет
Житомир, Україна
E-mail: gurmanchuka@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9663-1514

Карпов О. В.

агроном,
BTU Biotech company
Житомир, Україна

Невідомський Р. В.

здобувач ОС магістр,
Поліський національний університет
Житомир, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ПРОТИ МІКОЗІВ КАРТОПЛІ

Анотація

В умовах сьогодення зростає попит на органічні продукти харчування, в тому числі на картоплю. Розвиток шкідливих організмів на картоплі призводить до щорічних втрат урожаю, які лише від хвороб можуть становити понад 30%.

Серед основних грибних хвороб картоплі, які паразитують під час вегетації та зберігання урожаю, є фітофтороз (*Phytophthora infestans* Mont de Vary) та альтернаріоз (*Alternaria solani* Sorauer, *Alternaria alternata* Keis). Протягом багатьох років для захисту картоплі від цих хвороб використовували багаторазові обприскування під час вегетації рослин фунгіцидами, що сприяло формуванню у збудників стійкості до діючих речовин. Проте нині задля зниження негативного впливу на довкілля від застосування пестицидів та отримання органічної продукції у систему захисту картоплі від шкідливих організмів, в тому числі хвороб, включають біологічні препарати.

У статті висвітлено дані щодо вивчення ефективності біологічних препаратів проти збудників фітофторозу і альтернаріозу. Дослідження проводилися в умовах Бердичівського району Житомирської області протягом 2022–2024 рр. Схема дослідження складалася з таких варіантів: 1. Контроль; 2. Внесення у ґрунт МікоХелп (2,0 л/га) + 3-разова обробка по вегетації ФітоХелп (1,0 л/га); 3. Обробка бульб МікоХелп (2,0 л/м) + 3-разова обробка МікоХелп по вегетації (1,0 л/га); 4. Обробка бульб ФітоХелп (1,0 л/м) + 3-разова обробка ФітоХелп по вегетації (1,0 л/га).

За використання досліджуваних біопрепаратів отримали зниження розвитку та поширення фітофторозу та альтернаріозу, порівняно з контролем, у 1,8–3,2 та 2,4–4,9 рази відповідно. Найбільший відсоток зниження поширення і розвитку досліджуваних хвороб отримано у варіанті з обробкою бульб ФітоХелпом (1,0 л/м) + 3-разова обробка препаратом ФітоХелп по вегетації (1,0 л/га).

Зниження поширення і розвитку хвороб протягом вегетації рослин картоплі позитивно вплинуло на урожайність і якість бульб. Зокрема, отримано приріст урожаю бульб картоплі у межах 2,2–3,1 т/га. Під час дослідження якісних показників встановлено зростання вмісту сухої речовини у варіантах із застосуванням біопрепаратів на 0,07–0,28%, а крохмалю – на 0,2–0,73%, порівняно з контролем.

Ключові слова: картопля, альтернаріоз, фітофтороз, поширення, розвиток, біологічний препарат, урожайність.

Вступ. Картопля належить до найбільш популярних культур за різнобічністю господарського використання. Бульби картоплі багаті поживними речовинами, що визначає їхню цінність як для людини, тварини, так і для мікроорганізмів, які є збудниками хвороб різної етіологічної належності [1; 3].

Значна кількість збудників хвороб, які паразитують на картоплі, розпочинають свій патологічний процес під час вегетації рослин у польових умовах, а потім продовжують розвиток під час зберігання урожаю. Крім того, внаслідок недотримання сівозміни та вирощування картоплі монокультурою у ґрунті також відбувається накопичення інфекційного матеріалу, що може зберігати свою життєздатність протягом тривалого періоду часу та бути причиною виникнення епіфітотій [3; 8].

Нині найбільш поширені заходи регулювання чисельності шкідливих організмів ґрунтуються переважно на доволі широкому використанні хімічних засобів захисту. Проте надмірне і систематичне застосування пестицидів негативно впливає на довкілля та здоров'я людини [2; 3; 12].

Альтернативою застосування хімічними препаратами є впровадження у виробництво органічних технологій, застосування мікробіологічних препаратів і регуляторів росту рослин, що впливатимуть на стійкість рослин до шкідливих організмів, в тому числі хвороб. В основі біологізації сільськогосподарського виробництва, що може позитивно впливати на зростання урожайності, лежить використання природної родючості ґрунту, альтернативних методів удобрення з внесенням сидератів, перегною, мікробіологічних препаратів, а також використання, за можливості, кліматичних особливостей регіону вирощування культури [3; 7; 10].

В умовах сьогодення зростає попит на органічні продукти харчування, в тому числі на картоплю. Саме тому все частіше господарства намагаються використовувати для захисту цієї культури від шкідливих організмів препарати біологічного походження [7; 9].

Щорічні втрати врожаю бульб картоплі від хвороб становлять понад 30%, а в роки епіфітотій цей показник може досягати максимального значення [1; 11; 13].

Серед основних хвороб картоплі, збудниками яких є гриби, виділяють фітофтороз, альтернаріоз, фузаріоз, ризоктоніоз, різні види парші, суху гниль. Одним з найбільш шкідливих захворювань, що завдає шкоди як під час вегетації, так і в ході зберігання врожаю, є фітофтороз (*Phytophthora infestans* Mont de Bary). Симптоми захворювання проявляються найчастіше з фази бутонізації. Ураження збудником *Phytophthora infestans* сприяє проникненню в рослину та бульби інших сапрофітних і паразитичних мікроорганізмів, що сприяє розвитку комплексного захворювання. Загалом шкідливість фітофторозу залежить від низки факторів: погодних умов вегетаційного періоду, технології вирощування, стійкості сорту, а також системи заходів захисту [8; 13–15].

Також однією з доволі поширених хвороб картоплі є альтернаріоз (*Alternaria solani* Sorauer, *Alternaria alternata* Keis). Переважно збудники альтернаріозу належать до листових патогенів, уражуючи вегетативну масу і тим самим пригнічуючи процес фотосинтезу. Для розвитку альтернаріозу оптимальними умовами є температура в межах +25–26°C і чергування посушливого та вологого періодів. За таких умов рослини стають дещо ослабленими та швидше уражуються збудником хвороби [2; 11].

Саме тому дотримання технології вирощування і життя захисних заходів від шкідливих організмів, в тому числі хвороб, сприяє отриманню високих і стабільних урожаїв бульб картоплі. Використання біологічних препаратів проти хвороб у насадженнях картоплі дає змогу більш ефективно розкрити біологічний потенціал рослини, а також підвищити урожайність та отримати екологічно безпечну продукцію картоплярства [9; 11].

Мета роботи. Метою статті є вивчення ефективності біологічних препаратів проти мікозів картоплі, зокрема фітофторозу та альтернаріозу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Польові дослідження здійснювалися впродовж 2022–2024 рр. в умовах СФГ «Басюки» Бердичівського району Житомирської області.

Дослідні ділянки розміром 25м² розміщувалися рендомізовано у чотирикратній повторності. Дослідження проводили на сорті Рів'єра, попередник – овес. Схема дослідів складалася з таких варіантів: 1. Контроль; 2. Внесення у ґрунт МікоХелп (2,0 л/га) + 3-разова обробка по вегетації ФітоХелп (1,0 л/га); 3. Обробка бульб МікоХелп (2,0 л/т) + 3-разова обробка МікоХелп по вегетації (1,0 л/га); 4. Обробка бульб ФітоХелп (1,0 л/т) + 3-разова обробка ФітоХелп по вегетації (1,0 л/га). Статистичну обробку отриманих експериментальних даних проводили методом дисперсійного аналізу з використанням прикладних комп'ютерних програм [4–6].

Отримані результати щодо вивчення ефективності біопрепаратів проти фітофторозу та альтернаріозу дають можливість стверджувати, що в умовах господарства їх застосування у насадженнях картоплі є доволі ефективним (рис. 1).

За використання досліджуваних біопрепаратів отримали зниження розвитку і поширення фітофторозу та альтернаріозу порівняно з контролем у 1,8–3,2 та 2,4–4,9 рази відповідно. Найбільший відсоток у зниженні поширення і розвитку досліджуваних хвороб отримано у варіанті з обробкою бульб ФітоХелпом (1,0 л/т) + 3-разовою обробкою препаратом ФітоХелп по вегетації (1,0 л/га).

Зниження поширення і розвитку хвороб протягом вегетації рослин картоплі позитивно вплинуло на урожайність і якість бульб. Зокрема, отримано приріст урожаю бульб картоплі у межах 2,2–3,1 т/га (рис. 2).

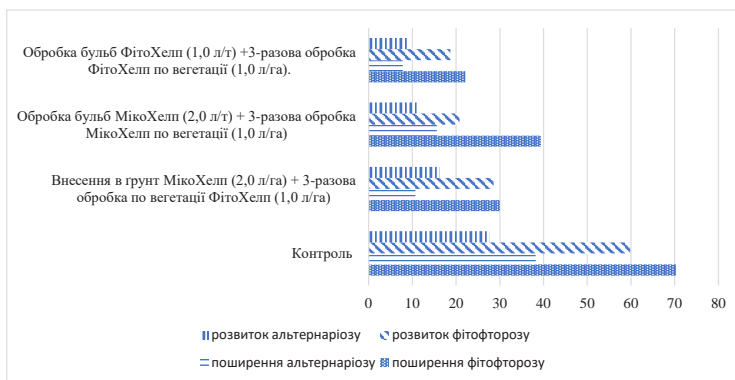


Рис. 1. Поширення і розвиток фітофторозу та альтернarioзу під час використання біопрепаратів, 2022–2024 рр.

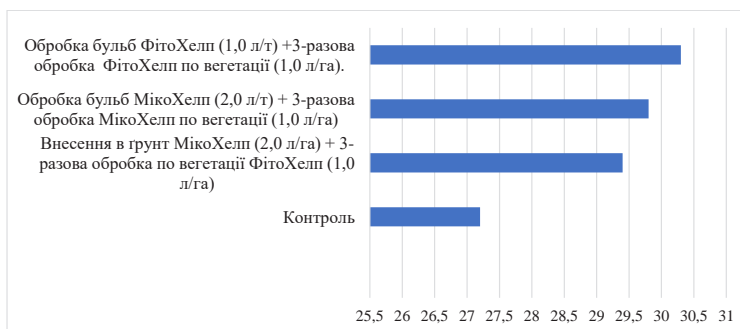


Рис. 2. Вплив біопрепаратів на урожайність бульб картоплі, 2022–2024 рр.

Під час дослідження якісних показників встановлено зростання вмісту сухої речовини у варіантах із застосуванням біопрепаратів на 0,07–0,28%, а крохмалю – на 0,2–0,73%, порівняно з контролем (табл. 1).

Таблиця 1. Вміст у бульбах сухої речовини і крохмалю за використання біологічних препаратів, %, 2022–2024 рр.

Варіант досліджу	Вміст у бульбах, %	
	сухої речовини, %	крохмалю, %
Контроль	16,78	13,85
Внесення в ґрунт МікоХелп (2,0 л/га) + 3-разова обробка по вегетації ФітоХелп (1,0 л/га)	16,85	14,09
Обробка бульб МікоХелп (2,0 л/т) + 3-разова обробка МікоХелп по вегетації (1,0 л/га)	16,87	14,37
Обробка бульб ФітоХелп (1,0 л/т) + 3-разова обробка ФітоХелп по вегетації (1,0 л/га)	17,06	14,58

Висновки. Отже, використання біологічних препаратів шляхом внесення їх у ґрунт, обробки бульб під час садіння та обприскування посівів під час вегетації рослин картоплі дає змогу знизити відсоток поширення і розвитку фітофторозу та альтернarioзу порівняно з контролем у 1,8–3,2 та 2,4–4,9 рази відповідно. Під час використання біопрепаратів урожайність зростає на 2,2–3,1 т/га, вміст сухої речовини – на 0,07–0,28%, а крохмалю – на 0,2–0,73%, порівняно з контролем. Найвищі показники ефективності серед досліджуваних варіантів отримано під час застосування обробки бульб препаратом ФітоХелп (2,0 л/т) + 3-разової обробки ФітоХелп по вегетації (1,0 л/га). Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення ефективності біопрепаратів у різних ґрунтових умовах та різних за стійкістю до хвороб сортах картоплі.

Список використаних джерел

- Бондарчук А., Колтунов В., Кравченко О. Картопля: вирощування, якість, збереження. Київ: КИТ, 2009. 232 с.
- Голячук Ю., Калашук Д. Вплив сортових особливостей і фунгіцидів на розвиток основних грибних хвороб картоплі. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2016. Вип. 20. С. 132–136.
- Колтунов В., Данилкова Т., Бородай В. Збереженість і продуктивність картоплі (*Solanum tuberosum* L.) в умовах Західного Полісся залежно від обробки хімічними і біологічними препаратами. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Агрономія*. 2013. № 17 (2). С. 311–318.
- Кононученко В., Куценко В., Осипчук А. Методичні рекомендації щодо проведення досліджень з картоплею. Немішасве, 2002. 182 с.
- Методика випробування і застосування пестицидів / за ред. С. Трибеля. Київ: Світ, 2001. 448 с.
- Методика наукових досліджень в агрономії: навчальний посібник / В. Дідора, О. Смаглій, Е. Ермантраут та ін. Київ: Центр учбової літератури, 2013. 264 с.

7. Основи екологічно безпечного застосування пестицидів у інтегрованих системах захисту сільськогосподарських культур від шкідливих організмів агроценозів: навчальний посібник / О. Дереча, М. Ключевич, А. Бакалова та ін. Житомир: ЖНАЕУ, 2018. 232 с.

8. Плотницька Н., Матвійчук Б., Тимошук О. Урожайність картоплі залежно від ураження фітофторозом. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства УААН»*. 2009. Вип. 3. С. 107–112.

9. Плотницька Н., Якимчук Р., Карпов О. Біопрепарати проти фітофторозу і альтернативи картоплі. *Органічне виробництво і продовольча безпека* : зб. праць XI Міжнар. наук.-практ. конф. Житомир: Поліський нац. університет, 2024. С. 126–129.

10. Положенець В., Немерицька Л., Плотницька Н. Захист картоплі від фітофторозу. *Карантин і захист рослин*. 2011. № 5. С. 17–19.

11. Райчук Т. Збудники плямистостей картоплі. Видовий склад у Північному Лісостепу. *Карантин і захист рослин*. 2010. № 3. С. 15–16.

12. Сучасні пестициди в системі захисту картоплі від шкідників та хвороб / В. Сергієнко, О. Шита, Р. Цуркан, С. Богданович. *Карантин та захист рослин*. 2011. № 8. С. 18–22.

13. Тарасенко О., Осипчук А., Коваль Н. Залежність індексу ураження фітофторозом від погодних умов. *Картоплярство*. 2002. Вип. 31. С. 141–148.

14. Andrivon D., Lucas J. M., Ellissèche D. Development of natural late blight epidemics in pure and mixed plots of potato cultivars with different levels of partial resistance. *Plant Pathol.* 2003. Vol. 52 (5). P. 586–594.

15. Tsedaley B. Late Blight of Potato (*Phytophthora infestans*) Biology, Economic Importance and its Management Approaches. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 2014. Vol. 4, iss. 25. P. 215–225.

Plotnytska N. M.

*Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Senior Lecturer at the Department of Phytocenosis Health and Trofology,
Polissia National University
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: plotnat@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7758-1307*

Nevmerzhytska O. M.

*Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Phytocenosis Health and Trofology,
Polissia National University
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: onevmerzhytska@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2024-9316*

Gurmanchuk O. V.

*Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Phytocenosis Health and Trofology,
Polissia National University
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: gurmanchuka@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9663-1514*

Karpov O. V.

*Agronomist,
BTU Biotech company
Zhytomyr, Ukraine*

Nevidomskiy R. V.

*Master's degree student,
Polissia National University
Zhytomyr, Ukraine*

EFFECTIVENESS OF BIOLOGICAL PREPARATIONS AGAINST POTATO MYCOSIS

Abstract

In today's conditions, the demand for organic food products, including potatoes, is growing. The development of harmful organisms on potatoes leads to annual crop losses, which can be more than 30% due to diseases alone.

Phytophthora infestans Mont de Bary and *Alternaria solani* Sorauer, *Alternaria alternata* Keis are among the main fungal diseases of potatoes that parasitize during growing season and crop storage. For many years, to protect potatoes from these diseases, repeated spraying with fungicides during the growing season of plants was used, which contributed to the formation of resistance to active substances in pathogens. However, currently, in order to reduce the negative impact on the environment from the use of pesticides and obtaining organic products, the system of protecting potatoes from harmful organisms, including diseases, includes biological preparations.

The article highlights the effectiveness of biological preparations against the pathogens of late blight and alternaria. The research was conducted in the conditions of the Berdychiv district of the Zhytomyr region during 2022–2024. The scheme of the experiment consisted of the following options: 1. Without preparations; 2. Applying MycoHelp (2,0 l/ha) to the soil + 3-time treatment with PhytoHelp (1,0 l/ha) during vegetation; 3. Treatment of MycoHelp tubers (2,0 l/t) + 3-time treatment of MycoHelp during vegetation (1,0 l/ha); 4. Treatment of tubers with FitoHelp (1,0 l/t) + 3-time treatment with FitoHelp during vegetation (1,0 l/ha).

By using the studied biological preparations, the development and spread of late blight and alternaria was reduced by 1,8–3,2 and 2,4–4,9 times, respectively, compared to the control. The highest percentage in reducing the spread and development of the studied diseases was obtained in the variant with treatment of tubers with FitoHelp (1,0 l/t) + 3-time treatment with the drug FitoHelp during vegetation (1,0 l/ha).

Reducing the spread and development of diseases during the growing season of potato plants had a positive effect on the yield and quality of tubers. In particular, an increase in the yield of potato tubers in the range of 2,2–3,1 t/ha was obtained. In the study of quality indicators, an increase in the content of dry matter in variants with the use of biological preparations by 0,07–0,28%, and starch – by 0,2–0,73%, compared to the control was established.

Key words: potato, alternaria, late blight, spread, development, biological preparation, productivity.

References

- Bondarchuk, A., Koltunov, V., & Kravchenko, O. (2009). Kartoplia: vyroshchuvannia, yakist, zberezhennia [Potatoes: cultivation, quality, preservation]. Kyiv: KYT [in Ukrainian].
- Holiachuk, Yu., & Kalashchuk, D. (2016). Vplyv sortovykh osoblyvostei i funhitsydiv na rozvytok osnovnykh hrybnykh khvorob kartopli [The influence of varietal characteristics and fungicides on the development of the main fungal diseases of potatoes]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu*, 20, 132–136 [in Ukrainian].
- Koltunov, V., Danylova, T., & Borodai, V. (2013). Zberezhennist i produktyvnist kartopli (*Solanum tuberosum* L.) v umovakh Zakhidnoho Polissia zalezno vid obrobky khimichnymi i biolohichnymi preparatamy [Conservation and productivity of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in the conditions of Western Polissia depending on treatment with chemical and biological preparations]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarynoho universytetu*. Ser: Ahronomiia, 17 (2), 311–318 [in Ukrainian].
- Kononuchenko, V., Kutsenko, V., & Osypchuk, A. (2002). *Metodychni rekomendatsii shchodo provedennia doslidzen z kartopleiu* [Methodological recommendations for conducting research with potatoes]. Nemishaieva: IK [in Ukrainian].
- Trybel, S. (ed.). (2001). *Metodyka vyprobuvannia i zastosuvannia pestytsydiv* [Methodology of testing and application of pesticides]. Kyiv: Svit [in Ukrainian].
- Didora, V., Smahlii, O., Ermantraut, E., Hudz, V., Moiseienko, V., Manko, Yu., Trofymenko, P., Saiuk, O., Derebon, I., & Khrapiichuk, P. (2013). *Metodyka naukovykh doslidzen v ahronomii* [Methods of scientific research in agronomy]. Kyiv: Tsentru uchbovoi literatury [in Ukrainian].
- Derecha, O., Kliuchevych, M., Bakalova, A., Hrytsiuk, N., Plotnytska, N., Klymenko, T., Radko, V., & Tymoshchuk, T. (2018). Osnovy ekolohichno bezpechnoho zastosuvannia pestytsydiv u integrovanykh systemakh zakhystu silskohospodarskykh kultur vid shkidlyvykh orhanizmiv ahrotsenoziv [Basics of ecologically safe use of pesticides in integrated systems of protection of agricultural crops from harmful organisms of agrocenoses]. Zhytomyr: ZhNAEU [in Ukrainian].
- Plotnytska, N., Matviichuk, B., & Tymoshchuk, O. (2009). Urozhainist kartopli zalezno vid urazhennia fitoforozom [The yield of potatoes depends on late blight damage]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovooho tsentru "Instytut zemlerobstva UAN"*, 3, 107–112 [in Ukrainian].
- Plotnytska, N., Yakymchuk, R., & Karpov, O. (2024). Biopreparaty proty fitoforozu i alternariozu kartopli [Biological preparations against phytophthora and alternaria of potatoes]. *Orhanichne vyrobnytstvo i prodovolcha bezpeka: zb. prats XI Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* [Organic production and food safety: coll. Proceedings of the XI International science and practice conf.]. Zhytomyr: Poliskyi natsionalnyi universytet, 126–129 [in Ukrainian].
- Polozhenets, V., Nemerytska, L., & Plotnytska, N. (2011). Zakhyst kartopli vid fitoforozu [Protection of potatoes from late blight]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 5, 17–19 [in Ukrainian].
- Raichuk, T. (2010). Zbudnyky pliamystostei kartopli. Vydovyi sklad u Pivnichnomu Lisostepu [Pathogens of potato spotting. Species composition in the Northern Forest Steppe]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 3, 15–16 [in Ukrainian].
- Serhiienko, V., Shyta, O., Tsurkan, R., & Bohdanovych, S. (2011). Suchasni pestytsydy v systemi zakhystu kartopli vid shkidnykiv ta khvorob [Modern pesticides in the system of protecting potatoes from pests and diseases]. *Karantyn ta zakhyst roslyn*, 8, 18–22 [in Ukrainian].
- Tarassenko, O., Osypchuk, A., & Koval, N. (2002). Zalezhnist indeksu urazhennia fitoforozom vid pohodnykh umov [Dependence of late blight damage index on weather conditions]. *Kartopliarstvo*, 31, 141–148 [in Ukrainian].
- Andrivon, D., Lucas, J.M., & Ellissèche, D. (2003). Development of natural late blight epidemics in pure and mixed plots of potato cultivars with different levels of partial resistance. *Plant Pathol.*, 52 (5), 586–594.
- Tsedaley, B. (2014). Late Blight of Potato (*Phytophthora infestans*) Biology, Economic Importance and its Management Approaches. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4 (25), 215–225.

УДК 504.75.05: 631.8

Попова О. П.здобувачка ступеня доктор філософії кафедри селекції,
насіництва і генетики,

Полтавський державний аграрний університет

Полтава, Україна

E-mail: oks27071994@gmail.com**ORCID:** 0000-0001-6285-654X**Кулик М. І.**

доктор сільськогосподарських наук,

професор кафедри селекції, насінництва і генетики,

Полтавський державний аграрний університет

Полтава, Україна

E-mail: kulykmaxym@ukr.net**ORCID:** 0000-0003-0394-5846

ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЦУКРИСТІСТЬ БІОМАСИ СОРГО ЦУКРОВОГО

Анотація

У статті викладено результати дослідження впливу умов року вирощування, ширини міжряддя і густоти посіву на формування біометричних показників рослин та врожайності і цукристості сорго цукрового (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench.). Вибрана культура для дослідження – це біоенергетична рослина, здатна забезпечити високий вихід біопалива: як твердого, так і рідкого.

Мета дослідження – встановити вплив ширини міжряддя та густоти посіву на мінливість біометричних показників рослин, врожайності та цукристості біомаси сорго цукрового сорту Фаворит. Під час проведення досліджень застосовували такі методи: польовий, вимірально-ваговий, лабораторний, математично-статистичний.

Результати досліджень свідчать про те, що збільшення густоти рослин сорго цукрового на міжрядді 30 см (до 300 тис. шт./га) зумовлює зменшення біометричних показників рослин, спостерігається вилягання рослин. Встановлено, що збільшення ширини міжряддя до 75 см не приводить до суттєвого зростання кількісних показників рослин, а іноді навіть знижує їх. Оптимальний фітоценоз за кількісними показниками рослин формується за густоти рослин 200 тис. шт./га за вирощування сорго цукрового з міжряддям 45 і 60 см.

Визначено, що за густоти стояння рослин сорго цукрового 200 тис./га на міжрядді 45 см врожайність біомаси збільшується до 64,0 т/га на противагу 60 см, де отримали 57,6 т/га, на міжрядді 75 см врожайність була істотно нижчою (на рівні 55,4 т/га), а на 30 см сягала всього 55,1 т/га за цієї ж густоти рослин. Як збільшення, так і зменшення густоти рослин не приводять до суттєвого зростання врожайності біомаси.

Встановлено, що цукристість біомаси сорго цукрового була найбільшою на варіантах вирощування рослин 45 см (13,2–13,3%), як звужені, так і ширші міжряддя суттєво знижували цей показник (до 10,5–11,4%)

Таким чином, ценотичні чинники (ширина міжряддя та густина рослинного стеблостоя) мають істотний вплив на рівень врожайності зеленої маси. Найбільше значення отримали за густоти рослин сорго цукрового 200 тис./га на міжрядді 45 см. При цьому густина рослин не завжди має вплив на цукристість, здебільшого на цей показник впливають ширина міжряддя та умови року вирощування.

Ключові слова: *Sorghum saccharatum* (L.) Moench., ширина міжрядь, густина рослин, елементи продуктивності, врожайність, цукристість, біомаса.

Вступ. Сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench.) використовується у харчових, кормових, технічних і біоенергетичних цілях. У зв'язку із змінами клімату важливим є вивчення особливостей формування врожайності цієї культури за різних елементів технології вирощування.

Ширина міжряддя й густина стояння рослин є важливими складовими частинами в технології вирощування сорго цукрового, що безпосередньо впливають на врожайність біомаси. Це пов'язано з тим, що ценотичні чинники визначають простір для розвитку кореневої системи, доступ до рослин світла, а також ефективність використання вологи та поживних речовин. Це беззаперечно пов'язано зі зменшенням конкуренції між рослинами за світло та поживні мінеральні речовини. Все це має вплив на ріст і розвиток рослин та формування продуктивності сорго цукрового.

Ширина міжряддя впливає на мінливість біометричних показників рослин, фотосинтетичну активність та здатність рослин використовувати доступні ресурси, такі як волога та поживні речовини, а також обсяг отриманої біомаси [2, с. 319].

Біометричні показники рослин сорго, такі як висота стебла, кількість листків, маса рослин і довжина волоті, є важливими показниками врожайності та якості біомаси. Вивчення впливу різної ширини міжряддя та норми висіву на ці показники дає змогу вдосконалити агротехнічні заходи і забезпечити оптимальні умови для росту та розвитку рослин. Українські вчені активно досліджують ці фактори, пропонуючи рекомендації щодо оптимізації технологій вирощування сорго. Так, вивчаючи різні варіанти ширини міжряддя (45 см, 70 см), Л. І. Петричук встановив, що ширина міжряддя 70 см дає змогу отримати вищі рослини й довжину волоті. Проте за збільшення ширини міжряддя спостерігається зменшення кількості рослин на одиницю площі, що впливає на загальну врожайність біомаси [12, с. 18].

Водночас О. І. Мулярчук разом із колегами також встановив, що збільшення ширини міжрядь із 45 до 70 см за незмінної норми висіву приводить до зміни густоти рослин, що покращує умови для проростання та появи сходів. Найвищі показники фотосинтетичної активності спостерігались у посівах з міжряддями 45 та 70 см за сівби 290 тисяч схожих насінин на гектар. У таких умовах площа листкової поверхні досягала 24–25 тис. м² на 1 га [11 с. 99–103].

У дослідженнях М. О. Бойко доведено, що зміна розмірів і форми площі живлення рослин сорго дає змогу впливати на інтенсивність кушення, що позначається на рівномірності й термінах дозрівання зерна, а також на досягненні фази повної стиглості. У південних областях України для сорго найбільш поширеним є широкорядний спосіб сівби з міжряддям 70 см. Однак під час вирощування низькорослих сортів або гібридів міжряддя зменшують до 45 см, що забезпечує приріст врожаю на 0,4–0,5 т/га. Оптимальна густота посіву визначається ґрунтово-кліматичними умовами та морфо-біологічними особливостями культури [1, с. 33–39].

Так, М. Б. Грабовський та інші вчені вивчали вплив різних норм висіву (100 тис., 150 тис., 200 тис. насінин на гектар) на розвиток рослин сорго цукрового. Вони виявили, що за норми висіву 140 тис. насінин на гектар за ширини міжряддя 45 см спостерігається найкраща комбінація висоти рослин, маси листкової частини та довжини волоті, що забезпечує максимальну врожайність біомаси. У їхніх дослідженнях визначено, що збільшення ширини міжряддя із 45 см до 70 см знижувало врожайність на 2,3–3,2% [3, с. 27–35].

Водночас В. Л. Курило та інші вважають, що оптимальна густота стояння рослин сорго цукрового становить 200–250 тисяч рослин на гектар. Вони підкреслюють, що надмірна загущеність посівів може спричинити значні втрати врожаю через схильність рослин до вилягання. Зниження норми висіву до 100 тис. насінин на гектар зменшує кількість рослин на одиницю площі, що також негативно впливає на загальну врожайність культури [8, с. 8–12].

Таким чином, українські дослідження показують, що оптимальна ширина міжряддя для вирощування сорго коливається між 45 та 70 см, залежно від регіону та типу ґрунтів. Щодо норми висіву, то найкращі результати досягаються за сівби 150–250 тис. схожих насінин на гектар. Більша або менша норма висіву призводить до погіршення біометричних показників рослин через надмірну або недостатню густоту стояння рослин.

Дослідження іноземних вчених показують, що зміна параметрів ширини міжряддя й норми висіву насіння має значний вплив на ріст і розвиток рослин сорго. Надмірне збільшення ширини міжряддя може знизити конкуренцію рослин сорго за світло, воду та поживні речовини, що сприяє кращому розвитку окремих рослин, але водночас зменшує загальну кількість рослин на одиницю площі. Це впливає на такі показники, як висота рослин та маса біомаси. Так, П. С. Рао і М. Шивашанкар встановили, що ширина міжряддя 60 см забезпечує оптимальну густоту рослин і сприяє найкращому розвитку сорго цукрового в умовах помірного клімату. Зменшення ширини міжряддя до 30 см призводить до більшої густоти рослин, але до зниження біометричних показників через підвищену конкуренцію за ресурси [25, с. 223–230].

Інші іноземні вчені, зокрема А. Кебеде разом із співавторами, вказують на те, що для посушливих регіонів Африки та Азії, де важливий економний розподіл водних ресурсів, оптимальна ширина міжряддя для сорго становить 75 см. Це дає змогу рослинам краще використовувати вологу і запобігати перегріву ґрунту, що позитивно впливає на розвиток кореневої системи та висоту стеблостою сорго [23, с. 104–112].

Норма висіву визначає густоту стояння рослин і безпосередньо впливає на їхню конкуренцію за ресурси. Підвищена густота часто зменшує доступ до світла, що може призвести до зниження біометричних показників, зокрема маси рослин та діаметра стебла. Це підтвердилося у дослідженнях іноземних вчених С. Буах та Л. Мвінкара, які довели, що за норми висіву 150 тис. насінин на гектар спостерігається найвища продуктивність рослин у вигляді збільшеної висоти та маси листкової частини. Проте за збільшення норми висіву до 200 тис. насінин/га зростає конкуренція між рослинами, що негативно позначається на їхніх біометричних показниках [20, с. 105–111].

Х. Карая та інші автори виявили, що для сухих умов Східної Африки оптимальна норма висіву сорго становить 100 тис. насінин на гектар. Така густота забезпечує кращий розвиток стебла та кореневої системи, оскільки рослини отримують більше ресурсів для свого росту й розвитку на одиницю площі [22, с. 88–95].

Дослідження вчених як з України, так і з-за кордону підтверджують, що оптимізація ширини міжряддя може значно підвищити продуктивність сорго. При цьому сорго цукрове досліджується як перспективна культура для біоенергетики. Сьогодні все інтенсивніше українські вчені вивчають сорго цукрове, зокрема його здатність до продукування енергоємної біомаси в умовах України. В низці досліджень зазначається, що найбільш ефективні параметри ширини міжряддя для сорго цукрового перебувають у межах 45–70 см. При цьому забезпечується

оптимальна площа живлення рослин, що сприяє рівномірному розподілу ресурсів та максимальній продуктивності. Так, О. А. Коваленко та А. В. Чернова зазначають, що зростання ширини міжряддя до 70 см може збільшити врожайність за рахунок зменшення конкуренції між рослинами сорго, що сприяє кращому розвитку кореневої системи та збільшенню фотосинтетичної активності [7, с. 129–136].

Зокрема, дослідження інших вчених показали, що зміна ширини міжряддя може значно вплинути на формування врожайності біомаси. Так, у дослідженнях А. О. Рожкова та інших з Харківського національного аграрного університету показано, що за ширини міжряддя в 45–60 см сорго ефективно використовує доступні ресурси, зокрема вологу і світло. Занадто широкі міжряддя призводять до нераціонального використання площі, тоді як надто вузькі можуть викликати затінення рослин [13, с. 73–84].

С. М. Шакалій та Л. А. Тарасова визначили, що в умовах Полтавської області оптимальна ширина міжряддя для сорго зернового становить 50–55 см. Зменшення ширини до 40 см призвело до значного загущення рослин, що знизило ефективність фотосинтезу та врожайність культури [17, с. 71–73].

Зарубіжні вчені також активно досліджують вплив міжряддя на продуктивність сорго цукрового, особливо у США, де культура має велике значення для біоенергетики. Проведені дослідження К. К. Тан та ін. (США) вказують на те, що оптимальна ширина міжряддя для вирощування сорго становить 50 см. Це забезпечує баланс між простором для кореневої системи та можливістю ефективного збору біомаси. Загущеність посівів є важливим фактором у вирощуванні цукрового сорго. Дослідження, проведені в Монголії та Китаї, показали, що за помірного збільшення густоти посівів (від 60 до 105 тисяч рослин на гектар) спостерігалось зменшення діаметра стебла, але водночас збільшення висоти рослин, площі листової поверхні та врожайності біомаси [28 с. 312–322]. Водночас А. Чилувал та Х. П. Сінх, разом із співавторами вивчаючи вплив ширини міжряддя на фотосинтетичну активність сорго в умовах посушливого клімату, дійшли висновку, що ширина міжряддя 55–60 см дає змогу зменшити втрати вологи та підвищити врожайність біомаси [21, с. 1371–1384].

Також К. Л. Бонін сумісно із співавторами зазначають, що у південних регіонах Європи ширина міжряддя 45–60 см оптимізує водний режим і збільшує продуктивність біомаси сорго, зменшуючи водний стрес для рослин [19 с. 150–159].

Згідно з дослідженнями Г. Л. Саваргвонкар та співавторів [26, с. 245–251], зміна відстані між рядками з 60 до 45 см не має впливу на врожайність різних сортів цукрового сорго.

Аналіз результатів досліджень низки авторів показує, що оптимальна ширина міжряддя для вирощування сорго цукрового коливається в межах 45–60 см. Як в Україні, так і за кордоном ці показники дають змогу забезпечити максимальне використання ресурсів: світла, вологи та площі. Проте у регіонах з менш сприятливими кліматичними умовами, наприклад у посушливих, ширина міжряддя може бути дещо більшою (до 60 см), що допомагає мінімізувати втрати вологи [9, с. 264; 15, с. 208].

Українські науковці також активно вивчають вплив норми висіву на врожайність сорго цукрового, адаптуючи його вирощування до місцевих ґрунтово-кліматичних умов. Так, за результатами досліджень А. В. Чернової, О. А. Коваленко та інших доведено, що норма висіву насіння цукрового сорго визначається залежно від сортових характеристик. Дослідження різних сортів і гібридів цього виду сорго вказують на варіативність їхньої продуктивності та можливостей для отримання високого врожаю. Такий підхід дає змогу вибрати найбільш ефективний сорт з урахуванням агрокліматичних умов та цільового призначення культури. Тобто норма висіву залежить від характеристик конкретного сорту, а правильний підбір забезпечує максимальну віддачу у вигляді сировини [16, с. 136–142]. Більшість дослідників [14, с. 7–11; 27, с. 9], що проводили вивчення норм висіву та ширини міжряддя сорго цукрового, також схиляються до думки про те, що ці параметри слід уточнити відповідно до сортових особливостей культури.

Вивчення впливу норми висіву на врожайність сорго цукрового в різних кліматичних зонах також активно проводяться в інших країнах, зокрема у США, Бразилії та Європі. Зарубіжні науковці стверджують, що норма висіву повинна коригуватися залежно від умов зрошення, типу ґрунтів та очікуваних кліматичних умов. Саме тому В. Веіл Мефью разом із колегами зазначає, що оптимальна норма висіву сорго цукрового в Північній Кароліні складає 100–123 тисячі рослин на гектар. Цей показник залежить від конкретного сорту та ширини міжряддя, що дає змогу досягати максимальної врожайності в цьому регіоні [24, с. 8]. К. Б. Адамс із співавторами у своїх дослідженнях, проведених у північній Флориді, довів, що оптимальна норма висіву для сорго становить 123,5 тисяч насінин на гектар. За таких умов спостерігався найкращий ріст, розвиток і продуктивність рослин. Ця густина також сприяла формуванню оптимального діаметра стебла, що полегшувало процес збору врожаю [18, с. 1831–1836].

На основі досліджень іноземних вчених можна дійти висновку, що оптимальні параметри вирощування сорго залежать від кліматичних умов. У помірному кліматі ефективними вважаються ширина міжряддя 60 см та норма висіву 150 тис. насінин на гектар. Для посушливих умов оптимальними є ширина міжряддя 75 см та знижена норма висіву до 100 тис. насінин. Ці параметри дозволяють рослинам уникати надмірної конкуренції, забезпечуючи максимальний розвиток біометричних показників і високу врожайність. Водночас українські дослідження вказують на схожі тенденції у впливі норми висіву на врожайність сорго цукрового. Оптимальна норма висіву в Україні коливається в межах 150–200 тисяч насінин на гектар, залежно від умов вирощування сорго.

Надмірна густина посіву може призвести до зменшення врожайності через надмірну конкуренцію між рослинами, тоді як занадто низька густина – до неповного використання доступних ресурсів. У публікаціях науковців акцентується увага на вивченні сортової реакції сорго цукрового за різних технологій вирощування. Це показує їхній різний рівень ефективності та можливості отримання високого виходу сировини на біоенергетичні цілі. Неоднозначність результатів досліджень різних науковців спонукає до більш глибокого вивчення питання щодо впливу елементів технології вирощування (ширина міжряддя і густоти посіву) на врожайність біомаси сорго цукрового в умовах України.

Мета роботи полягає у встановленні впливу умов року, ширини міжряддя та густоти посіву на мінливість біометричних показників рослин, врожайність та цукристість біомаси сорго цукрового.

Польові дослідження здійснено із сортом сорго цукрового Фаворит в умовах виробничих посівів ФГ «Абрамівське» Полтавської області протягом 2022–2024 років. Експеримент проведено у зоні нестійкого зволоження Лівобережної частини центрального Лісостепу України із сортом сорго цукрового Фаворит.

Грунтові відміни дослідного поля представлені чорноземом типовим слабкосолонцюватим малогумусним середньосуглинковим. Загальний вміст гумусу – від 4,0% (за Тюрнімом). Вміст лужногідролізованого азоту становить 95–105 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом), рухомих форм фосфору – 25–40, калію – 90–125 мг/кг ґрунту (за Мачигінімом).

Для проведення експерименту користувалися рекомендаціями дослідної справи в агрономії. Польові досліді закладали методом систематичних повторювань: у кожному повторенні варіанти ділянок розміщували послідовно [4, с. 316; 5, с. 341]. Дослід – трьохфакторний. Чинник А (умови досліджень): 2022–2024 рр., чинник Б (ширина міжряддя): ШМ30 – ширина міжряддя 30 см, ШМ45 – ширина міжряддя 45 см, ШМ60 – ширина міжряддя 60 см, ШМ75 – ширина міжряддя 75 см. Чинник В (густина рослин), варіанти: 1 – 100 тис./га, 2 – 200 тис./га, 3 – 300 тис./га.

Технологічні заходи з вирощування сорго цукрового здійснені згідно наукових рекомендацій, окрім чинників, що вивчали. Сівбу сорго цукрового проводили у I декаді травня за температури ґрунту +13...+15°C. Норма висіву насіння становила 6–9 кг/га [8, с. 8–12]. Обліки та спостереження за рослинами сорго цукрового проводили відповідно до методики державної науково-технічної експертизи сортів рослин [10, с. 160]. Облік врожайності біомаси сорго цукрового визначали поділяючно в межах кожного з чотирьох повторень. Вміст цукру в соку стебел вимірювали рефрактометром.

Математичний обрахунок цифрових даних здійснювали відповідно до статистичного аналізу агрономічних дослідних даних у пакеті Statistica 6.0 з використанням персонального комп'ютера [6, с. 55].

Виклад основного матеріалу дослідження. Біометричні показники рослин сорго цукрового за варіантами досліді в розрізі років дослідження були доволі мінливими, а в середньому за три роки мали такі значення (табл. 1).

Встановлено, що максимальні показники окремих елементів структури врожаю сорго цукрового спостерігалися за ширини міжрядь 45 та 60 см та густоти стояння рослин 200 тис. шт./га. За густоти стояння 300 тис. шт./га кількість листків у рослин знижується, але збільшується їхня довжина. Облистяність сортів сорго цукрового за ширини міжрядь 45 см та густоти стояння рослин 100–300 тис. шт./га була на рівні 9,0–9,4 шт./рослину. При цьому висота рослин варіювалась у межах від 215,3 до 220,2 см з діаметром стебла 1,4–1,8 см. За ширини міжряддя 60 і 75 см ці показники зростали, а за 30 см – суттєво знижувалися.

Таблиця 1. Біометричні показники рослин сорго цукрового, середнє за 2022–2024 роки

Чинники		Кількісні показники рослин					
ширина міжряддя (чинник Б)	густина, тис. шт. росл./га* (чинник В)	кількість міжвузлів, шт.	кількість листків, шт.	довжина листка, см	ширина листка, см	довжина стебла, см	діаметр стебла, см
ШМ30	вар. 1	7,3	8,2	50,1	4,2	220,3	1,5
	вар. 2	7,0	8,1	46,3	4,0	205,8	1,4
	вар. 3	6,1	8,0	48,5	4,2	201,4	1,2
ШМ45	вар. 1	8,2	9,4	50,2	6,0	215,3	1,8
	вар. 2	8,0	9,3	50,8	6,3	219,8	1,7
	вар. 3	7,5	9,0	46,4	6,2	220,2	1,4
ШМ60	вар. 1	8,2	9,3	48,4	5,2	221,4	1,8
	вар. 2	8,0	9,2	47,1	5,6	225,4	1,4
	вар. 3	7,1	8,9	44,3	6,0	226,1	1,3
ШМ75	вар. 1	8,1	9,2	51,1	6,0	235,4	1,5
	вар. 2	8,0	9,0	49,6	6,2	241,2	1,5
	вар. 3	7,6	8,8	48,8	6,4	243,3	1,6
Середнє		7,6	8,9	48,5	5,5	223,0	1,5
НІР ₀₅ (чинник Б)		0,47	0,32	2,13	0,34	5,32	0,20
НІР ₀₅ (чинник В)		0,45	0,47	1,82	0,76	10,71	0,16
НІР ₀₅ (чинник Б і В)		0,48	0,57	2,84	0,54	5,08	0,28

*1 – густина рослин 100 тис./га, 2 – густина рослин 200 тис./га, 3 – густина рослин 300 тис./га

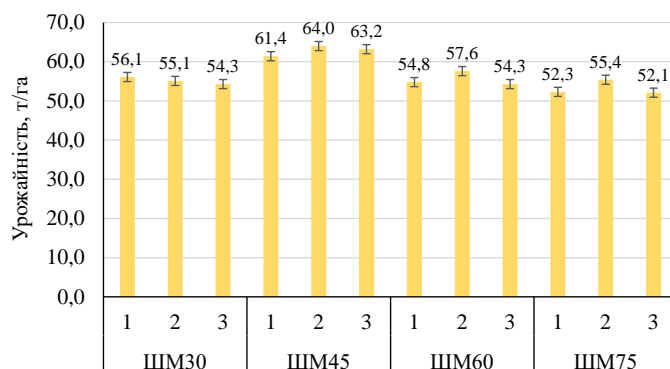
Урожайність біомаси сорго цукрового за роки дослідження змінювалася в широких межах: від 34,2 до 84,2 т/га. Цукристість зеленої маси сорго цукрового за варіантами досліду й роками – від 9,0 до 13,9% (табл. 2).

Таблиця 2. Урожайність та цукристість зеленої маси сорго цукрового, 2022–2024 роки

Варіанти		Урожайність зеленої маси, т/га				Цукристість, %			
ширина міжряддя (чинник Б)	густота, тис. шт. рослин/га* (чинник В)	2022 рік	2023 рік	2024 рік	середнє	2022 рік	2023 рік	2024 рік	середнє
ШМ30	вар. 1	70,2	56,1	42,3	56,1	11,7	11,8	10,1	11,2
	вар. 2	72,3	55,1	41,4	55,1	12,2	12,0	10,3	11,5
	вар. 3	71,2	54,3	40,8	54,3	11,9	11,7	9,9	11,2
ШМ45	вар. 1	83,2	61,4	46,1	61,4	13,5	12,7	13,3	13,2
	вар. 2	84,2	64,0	48,4	64,0	13,9	13,1	12,5	13,2
	вар. 3	81,0	63,2	46,9	63,2	13,7	12,8	13,5	13,3
ШМ60	вар. 1	77,2	54,8	39,5	54,8	11,9	10,2	11,2	11,1
	вар. 2	76,4	57,6	43,5	57,6	12,4	10,5	11,4	11,4
	вар. 3	73,5	54,3	41,9	54,3	12,1	10,1	11,0	11,1
ШМ75	вар. 1	64,5	52,3	35,4	52,3	12,0	9,0	10,5	10,5
	вар. 2	68,3	55,4	36,7	55,4	12,2	9,8	11,1	11,0
	вар. 3	63,1	52,1	34,2	52,1	11,9	9,5	10,2	10,5
Середнє		73,8	56,7	41,4	56,7	12,5	11,1	11,3	11,6
НІР ₀₅ (чинник А)					2,05				0,45
НІР ₀₅ (чинник Б)		1,35	1,07	0,97	-	0,17	0,19	0,28	-
НІР ₀₅ (чинник В)		4,76	2,76	3,10	-	0,54	0,99	0,86	-
НІР ₀₅ (чинник Б і В)		0,16	0,16	0,15	-	0,11	0,11	0,12	-

*1 – густота рослин 100 тис./га, 2 – густота рослин 200 тис./га, 3 – густота рослин 300 тис./га

У середньому за роки дослідження урожайність і цукристість зеленої маси сорго цукрового були мінімальними показниками (рис. 1–2).



НІР₀₅ 2,05 т/га

Рис. 1. Урожайність зеленої маси сорго цукрового, середнє за 2022–2024 роки

Примітка: 1 – густота рослин 100 тис./га, 2 – густота рослин 200 тис./га, 3 – густота рослин 300 тис./га

Визначено, що під час вирощування сорго цукрового на міжрядді 45 см за густоти стояння рослин 200 тис./га суттєво збільшується врожайність біомаси – до 64,3 т/га, на противагу 60 см, де отримали 57,6 т/га. Водночас на міжрядді 75 см врожайність була істотно нижчою (на рівні 55,4 т/га), а на міжрядді 30 см – отримали найменше значення цього показника (55,1 т/га) за цієї ж густоти рослин. Густота стояння рослин 100 тис. і 300 тис./га однозначно зменшує врожайність зеленої біомаси сорго цукрового.

Загалом визначено частки впливу досліджуваних чинників на врожайність біомаси сорго цукрового (рис. 2).

Найбільш вагомими чинниками, що мають істотний вплив на врожайність біомаси сорго цукрового, є умови року вирощування (34,5%), ширина міжряддя (15,7%) та густота рослин (16,8%), менш впливовим – їхня взаємодія (9,2–12,4%).

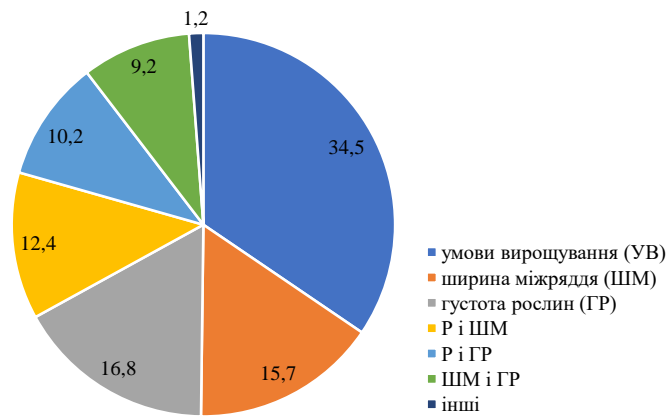
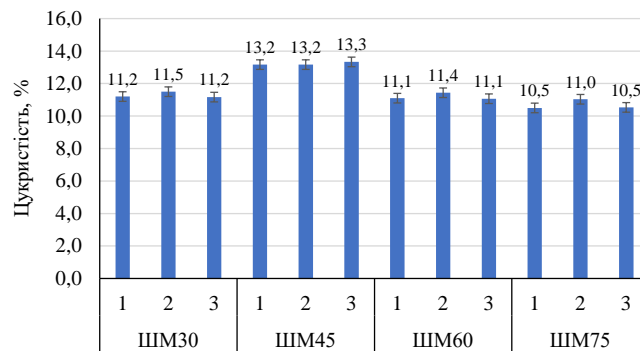


Рис. 2. Частки впливу досліджуваних чинників на врожайність біомаси сорго цукрового, 2022–2024 роки

Встановлено, що показник цукристості біомаси сорго цукрового у середньому за роки дослідження варіювався у доволі широких межах: від 10,5 до 13,3% (рис. 3).



НІР₀₅ 0,45%

Рис. 3. Цукристість біомаси сорго цукрового, середнє за 2022–2024 роки

Примітка: 1 – густота рослин 100 тис./га, 2 – густота рослин 200 тис./га, 3 – густота рослин 300 тис./га

Встановлено, що на цукристість біомаси сорго цукрового більше впливає ширина міжряддя, ніж густота стояння рослин. Так, найкращі значення за цим показником отримали за вирощування рослин з шириною міжряддя 45 см: як звуження міжряддя, так і їхнє збільшення приводить до зниження вмісту цукрів у біомасі.

Висновки. Встановлено, що збільшення густоти рослин сорго цукрового на міжрядді 30 см (до 300 тис. шт./га) зумовлює зменшення біометричних показників рослин, спостерігається часткове вилягання рослин. Встановлено, що збільшення ширини міжряддя до 75 см не приводить до суттєвого зростання кількісних показників рослин. Максимальні показники облистяності (9,2–9,4 шт./рослину) спостерігалися у сортів за ширини міжряддя 45 та 60 см та густоти стояння рослин 100 і 200 тис. шт./га. За густоти стояння 300 тис. шт./га на цих міжряддях кількість листків у рослин знижується. Значної різниці за діаметром стебел залежно від густоти рослин за ширини міжряддя 75 см не виявлено. Оптимальний фітоценоз за кількісними показниками рослин формується за густоти рослин 200 тис. шт./га за вирощування з міжряддям 45 і 60 см.

За густоти стояння рослин сорго цукрового 200 тис./га на міжрядді 45 см суттєво збільшується врожайність біомаси – до 64,0 т/га, на противагу 60 см, де отримали 57,6 т/га, на міжрядді 75 см врожайність була істотно нижчою (на рівні 55,4 т/га), а на 30 см сягала всього 55,1 т/га за цієї ж густоти рослин.

Встановлено, що цукристість біомаси сорго цукрового була найбільшою на варіантах вирощування рослин 45 см (13,2–13,3%): як звужені, так і ширші міжряддя суттєво знижували цей показник (до 10,5–11,4%).

Перспективи подальших досліджень полягатимуть у визначенні врожайності та оцінюванні якості біомаси сорго цукрового залежно від системи удобрення за вирощування культури.

Список використаних джерел

1. Бойко М.О. Обґрунтування агротехнічних прийомів вирощування сорго зернового в умовах Півдня України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Агронімія»*. 2016. Вип. 235. С. 33–39.
2. Ганженко О.М. Агроекологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для біопалив: монографія. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2023. 319 с.

3. Грабовський М.Б., Федорук Ю.В., Правдива Л.А., Грабовська Т.О. Вплив площі живлення рослин сорго цукрового та кукурудзи на їх ріст, розвиток та урожайність зеленої маси в сумісних посівах. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2018. № 5 (75). С. 27–35. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2018_5_26.
4. Дослідна справа в агрономії: навчальний посібник: у 2 кн. Кн. 1: Теоретичні аспекти дослідної справи / А.О. Рожков, В.К. Пузік, С.М. Каленська та ін.; за ред. А.О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 316 с.
5. Дослідна справа в агрономії: навчальний посібник: у 2 кн. Кн. 2: Теоретичні аспекти дослідної справи / А.О. Рожков, В.К. Пузік, С.М. Каленська та ін.; за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 341 с.
6. Ермантраут Е.Р., Присяжнюк О.І., Шевченко І.Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica – 6: методичні вказівки. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.
7. Коваленко О.А., Чернова А.В. Вплив норми висіву насіння на формування густоти стояння рослин сортів сорго цукрового в умовах півдня України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 3. С. 129–136.
8. Курило В.Л., Григоренко Н.О., Марчук О.О., Фуніна І.Р. Продуктивність сорго цукрового (*Sorghumsaccharum* (L.) Pers.) залежно від сортових особливостей та різної густоти стояння рослин. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2013. № 3. С. 8–12.
9. Макаров Л.Х. Соргові культури: монографія. Херсон: Айлант, 2006. 264 с.
10. Методика державної науково-технічної експертизи сортів рослин. Методи визначення показників якості продукції рослинництва / за ред. С.О. Ткачик. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2015. 160 с.
11. Мулярчук О.І., Міщенко Ю.Г., Масик І.М., Давиденко Г.А. Біопаливо з цукрового сорго. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Агронія і біологія*. 2014. № 3. С. 99–103.
12. Петричук Л.І. Агробіологічні основи формування високопродуктивних агрофітоценозів силосних культур в умовах Південного Степу: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Херсон, 2015. 18 с.
13. Рожков А.О., Давиденко С.Ю. Польова схожість насіння і виживаність рослин сорго зернового залежно від ширини міжрядь та норми висіву насіння. *Вісник ХНАУ. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво»*. 2020. № 1–2. С. 73–84.
14. Сторожик Л.І., Будовський М.Д. Продуктивність сорго цукрового як джерела виробництва біопалива в сумісних посівах з іншими культурами. *Цукрові буряки*. 2016. № 2. С. 7–11.
15. Федорчук М.І., Коковіхін С.В., Каленська С.М. та ін. Науково-теоретичні засади та практичні аспекти формування екологічно безпечних технологій вирощування та переробки сорго в степовій зоні України: монографія. Херсон, 2017. 208 с.
16. Чернова А.В., Коваленко О.А., Корхова М.М. Урожайність зеленої маси сорго цукрового залежно від сортових особливостей, норм висіву, біопрепарату та мікродобрив за різних років дослідження. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 136–142.
17. Шакалій С.М., Чмир В.О. Вплив норм добрив на продуктивність сорго зернового. *Сучасні тенденції в сільському господарстві: матеріали Всеукр. дистан. наук.-практ. конф., Полтавська державна сільськогосподарська дослідна станція, 7 жовтня 2020 року*. Полтава, 2020. С. 71–73.
18. Adams C.B., Erickson J.E., Campbell D.N., Singh M.P., Rebolledo J.P. Effects of row spacing and population density on yield of sweet sorghum: Applications for harvesting as billets. *Agronomy Journal*. 2015. Vol. 107, № 5. P. 1831–1836.
19. Bonin C.L., Heaton E.A., Cogdill T.J., Moore K.J. Management of Sweet Sorghum for Biomass Production. *Sugar Tech*. 2015. № 18 (2). P. 150–159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-015-0377-y>.
20. Buah S.S., Mwinkaara L. Effects of plant density on growth and yield of sorghum in Northern Ghana. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2019. № 21 (2). P. 105–111.
21. Chilawal A., Singh H.P., Sainju U., Khanal B., et al. Spacing Effect on Energy Cane Growth, Physiology, and Biomass Yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2018. № 58 (3). P. 1371–1384.
22. Karaya H., Muui C., Njoroge S. Optimal planting density for sorghum in semi-arid regions of Kenya. *Journal of Dryland Agriculture*. 2021. № 5 (1). P. 88–95.
23. Kebede A., Berhe M., Zewde T. Effect of row spacing on sorghum productivity in arid regions. *African Journal of Agronomy*. 2020. № 11 (5). P. 104–112.
24. Matthew W., Veal Mari S., Chinn Matthew B., Whitfield. Sweet Sorghum Production to Support Energy and Industrial Products. North Carolina Cooperative Extension, 2014. 8 p.
25. Rao P.S., Shivashankar M. Influence of row spacing and plant density on sugarcane sorghum growth. *Agricultural Journal of Crop Science*. 2019. № 56 (3). P. 223–230.
26. Sawargaonkar G.L., Patil M.D., Wani S.P., Pavani E., Reddy B., Marimuthu S. Nitrogen response and water use efficiency of sweet sorghum cultivars. *Field Crops Research*. 2013. № 149. P. 245–251. URL: <https://oar.icrisat.org/6853>.
27. Storozhyk L.I., Muzyka O.V. Формування структурних показників урожаю сорго цукрового залежно від елементів технології вирощування. *Новітні агротехнології*. 2018. № 5. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.21498/na.5.2017.143946>.
28. Tang C.C., Sun C.D., Du F., Chen F., Ameen A., Fu T.C., Xie G.H. Effect of Plant Density on Sweet and Biomass Sorghum Production on Semiarid. *Marginal Land. Sugar Tech*. 2018. № 20 (3). P. 312–322.

Popova O. P.

Postdoctoral Student at the Department of Breeding, Seed Production and Genetics,
Poltava State Agrarian University
Poltava, Ukraine

E-mail: oks27071994@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6285-654X

Kulyk M. I.

Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Breeding, Seed Production and Genetics,
Poltava State Agrarian University
Poltava, Ukraine

E-mail: kulykmaksym@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0394-5846

INFLUENCE OF THE CULTIVATION TECHNOLOGY ELEMENTS ON THE YIELD AND SUGAR CONTENT OF SUGAR SORGHUM BIOMASS

Abstract

The article presents the research results on the influence of cultivation year conditions, row spacing width and sowing density on the formation of plant biometric parameters and the yield and sugar content of sugar sorghum (*Sorghum saccharatum* (L.) Moench.) The crop selected for the study is a bioenergy plant that can provide high yields of solid and liquid biofuels.

The research aimed to determine the influence of row spacing width and sowing density on the variability of plant biometric parameters, yield and sugar content of sorghum biomass of sugar variety Favoryt. The following methods were used during the research: field, measurement-weight, laboratory, mathematical and statistical.

The research results prove that the increase in the density of sugar sorghum plants at a row spacing of 30 cm (up to 300 thousand plants/ha) causes a decrease in the biometric parameters of plants, and lodging of plants is observed. It was found that increasing the row spacing width up to 75 cm does not lead to a significant increase in the quantitative indicators of plants, and in some cases even reduces them. The optimal phytocoenosis for plant quantitative indicators is formed at a plant density of 200 thousand plants/ha when growing sugar sorghum with row spacing of 45 and 60 cm.

The research showed that at a plant density of 200 thousand/ha with a row spacing of 45 cm, the biomass yield increases significantly up to 64.0 t/ha, in contrast to 60 cm, where 57.6 t/ha was obtained; at 75 cm row spacing, the yield was significantly lower (at the level of 55.4 t/ha), and at 30 cm it reached only 55.1 t/ha at the same plant density. Increasing and decreasing plant density does not lead to a significant increase in biomass yield.

The sugar content of sugar sorghum biomass was found to be the highest in the variants of growing plants of 45 cm (13.2–13.3%), both narrowed and wider row spacing significantly reduced this indicator (up to 10.5–11.4%)

Thus, coenotic factors (row spacing width and plant stem density) significantly influence the level of green mass yield. The highest value was obtained at the density of 200 thousand/ha of sugar sorghum plants at a row spacing of 45 cm. However, plant density does not always influence sugar content and this indicator is more influenced by the row spacing width and the cultivation year conditions.

Key words: *Sorghum saccharatum* (L.) Moench., row spacing width, plant density, productivity elements, yield, sugar content, biomass.

References

1. Boiko, M.O. (2016). Obgruntuvannia ahrotekhnichnykh pryiomiv vyroshchuvannia sorho zernovoho v umovakh Pivdnia Ukrainy [Justification of agrotechnical methods of growing grain sorghum in the conditions of Southern Ukraine]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine*, 235, 33–39 [in Ukrainian].
2. Hanzhenko, O.M. (2023). Ahroekologichni osnovy formuvannia produktyvnosti tsukronosnykh kultur dlia biopalyva [Agroecological bases of formation of productivity of sugar-bearing crops for biofuel]. *Monohrafiia. Nats. akad. ahrar. nauk Ukrainy, In-t bioenerh. kultur i tsukr. buriakiv. – Monograph. National Acad. agrarian of Sciences of Ukraine, Institute of Bioenergy. cultures and sugars*. Vinnytsia: Nilan-LTD, 319 p. [in Ukrainian].
3. Hrabovskyyi, M.B., Fedoruk, Yu.V., Pravdyva, L.A., & Hrabovska, T.O. (2018). Vplyv ploshchi zhyvlennia roslyn sorho tsukrovoho ta kukurudzy na yikh rist, rozvytok ta urozhainist zelenoi masy v sumisnykh posivakh [The influence of the feeding area of sugar sorghum and corn plants on their growth, development and yield of green mass in combined crops]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy – Scientific reports of NUBiP of Ukraine*, 5 (75), 27–35. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2018_5_26 [in Ukrainian].
4. Rozhkov, A.O., Puzik, V.K., & Kalenska, S.M. & et al. (2016 a). Doslidna sprava v ahronomii: navch. posibnyk: u 2 kn. – Kn. 1. Teoretychni aspekty doslidnoi spravy; za red. A.O. Rozhkova [Experimental work in agronomy: a textbook: in 2 books – Book 1. Theoretical aspects of the experimental case; edited by A.O. Rozhkova]. Maidan. Kharkiv. 316 p. [in Ukrainian].
5. Rozhkov, A.O., Puzik, V.K., Kalenska, S.M. & et al. (2016 a). Doslidna sprava v ahronomii: navch. posibnyk: u 2 kn. – Kn. 1. Teoretychni aspekty doslidnoi spravy; za red. A.O. Rozhkova [Experimental work in agronomy: a textbook: in 2 books – Book 2. Theoretical aspects of the experimental case; edited by A.O. Rozhkova]. Maidan. Kharkiv. 341 p. [in Ukrainian].
6. Ermantraut, E.R., Prysiazhniuk, O.I., & Shevchenko, I.L. (2007). *Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh v paketi Statistica – 6 [Statistical analysis of agronomic experimental data in the package Statistica – 6]*. Kyiv: Polihraf Konsal'tynh. 55 p. [in Ukrainian].

7. Kovalenko, O.A., & Chernova, A.V. (2017). Vplyv normy vysivu nasinnia na formuvannia hustoty stoiannia roslyn sortiv sorho tsukrovoho v umovakh pivdnia Ukrainy [The influence of the rate of sowing seeds on the formation of the density of standing plants of varieties of sugar sorghum in the conditions of southern Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomia – Herald of Agrarian Science of the Black Sea Region*, 3, 129–136 [in Ukrainian].
8. Kurylo, V.L., Hryhorenko, N.O., Marchuk, O.O., & Funina, I.R. (2013). Produktivnist sorhotsukrovoho (Sorghumsaccharum (L.) Pers.) zalezno vid sortovykh osoblyvosti ta riznoi hustoty stoiannia roslyn [Productivity of sugar sorghum (Sorghumsaccharum (L.) Pers.) depending on varietal characteristics and different plant density]. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn – Varietal research and protection of rights to plant varieties*, 3, 8–12 [in Ukrainian].
9. Makarov, L.Kh. (2006). *Sorhovi kultury [Sorghum crops]*. Kherson: Ailant, 264 p. [in Ukrainian].
10. Tkachyk, S.O. (2015). Metodyka derzhavnoi naukovykh tekhnichnoi ekspertyzy sortiv roslyn. Metody vyznachennia pokaznykiv yakosti produktsii roslynnytstva [Methodology of state scientific and technical examination of plant varieties. Methods of determining plant production quality indicators]. Za red. S. O. Tkachyk. 4-te vyd. Vinnytsia: Nilan-LTD, 160 p. [in Ukrainian].
11. Muliarchuk, O.I., Mishchenko, Yu. H., Masyk, I.M., & Davydenko, H.A. (2014). Biopalyvo z tsukrovoho sorho [Biofuel from sugar sorghum]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ahronomiia i biolohiia – Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Agronomy and biology*, 3, 99–103 [in Ukrainian].
12. Petrychuk, L.I. (2015). *Ahrobiolohichni osnovy formuvannia vysoko– produktyvnykh ahrofitosenoziv sylosnykh kultur v umovakh Pivdennoho Stepu [Agrobiological bases of the formation of highly productive agrophytocenoses of silage crops in the conditions of the Southern Steppe]*. Kherson [in Ukrainian].
13. Rozhkov, A.O., & Davydenko, S.I. (2020). Polova skhozhist nasinnia i vyzhyvanist roslyn sorho zernovoho zalezno vid shyryny mizhriadi ta normy vysivu nasinnia [Field germination of seeds and survival of grain sorghum plants depending on the width of the rows and the rate of seed sowing]. *Visnyk KhNAU: Ser. “Roslynnytstvo, selektsiia i nasynnytstvo, plodo-ovochivnytstvo” – KHNAU Bulletin: Ser. “Plant production, selection and seed production, fruit and vegetable production”*, 1–2. P. 73–84 [in Ukrainian].
14. Storozhyk, L.I., & Budovskiy, M.D. (2016). Produktivnist sorho tsukrovoho yak dzherela vyrobnytstva biopalyva v sumisnykh posivakh z inshymy kulturamy [Productivity of sugar sorghum as a source of biofuel production in intercropping with other crops]. *Tsukrovi buriaky: Vseukrainskyi naukovy-vyrobnychiy zhurnal – Sugar beets: All-Ukrainian scientific and production journal*. Kyiv 2, 7–11 [in Ukrainian].
15. Fedorchuk, M.I., Kokovikhin, S.V., & Kalenska, S.M., et al. (2017). Naukovo-teoretychni zasady ta praktychni aspekty formuvannia ekolohobezpechnykh tekhnolohii vyroshchuvannia ta pererobky sorho v stepovii zoni Ukrainy [Scientific and theoretical foundations and practical aspects of the formation of environmentally safe technologies for growing and processing sorghum in the steppe zone of Ukraine]. *Monohrafiia – Monograph*. Kherson, 208 p. [in Ukrainian].
16. Chernova, A.V., Kovalenko, O.A., & Korkhova, M.M. (2020). Urozhainist zelenoi masy sorho tsukrovoho zalezno vid sortovykh osoblyvosti, norm vysivu, biopreparatu ta mikroдобryv za riznykh rokiv doslidzhennia [Yield of green mass of sugar sorghum depending on varietal characteristics, sowing rates, biological preparation and microfertilizers in different years of the study]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations*, 4, 136–142 [in Ukrainian].
17. Shakalii, S.M., & Chmyr, V.O. (2020). *Vplyv normi dobrovy na produktyvnist sorho zernovoho [The effect of fertilizer rates on the productivity of grain sorghum]*. *Suchasni tendentsii v silskomu hospodarstvi – Modern trends in agriculture: materials of the All-Ukrainian remote scientific and practical conference*, Poltava, October 7. pp. 71–73 [in Ukrainian].
18. Adams, C.B., Erickson, J.E., Campbell, D.N., Singh, M.P., Rebolledo, J.P. (2015). Effects of row spacing and population density on yield of sweet sorghum: Applications for harvesting as billets. *Agronomy Journal*. Vol. 107. No. 5. P. 1831–1836 [in English].
19. Bonin, C.L., Heaton, E.A., Cogdill, T.J., Moore, K.J. (2016). Management of Sweet Sorghum for Biomass Production. *Sugar Tech*, 18 (2), 150–159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-015-0377-y> [in English].
20. Buah, S.S., & Mwinkaara, L. (2019). Effects of plant density on growth and yield of sorghum in Northern Ghana. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21 (2), 105–111 [in English].
21. Chiluwal, A., Singh, H.P., Sainju, U., & Khanal, B., et al. (2018). Spacing Effect on Energy Cane Growth, Physiology, and Biomass Yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 58 (3). P. 1371–1384 [in English].
22. Karaya, H., Muui, C., & Njoroge, S. (2021). Optimal planting density for sorghum in semi-arid regions of Kenya. *Journal of Dryland Agriculture*, 5 (1), 88–95 [in English].
23. Kebede, A., Berhe, M., & Zewde, T. (2020). Effect of row spacing on sorghum productivity in arid regions. *African Journal of Agronomy*, 11 (5), 104–112 [in English].
24. Matthew, W.Veal., Mari S. Chinn, Matthew, B. Whitfield (2014). Sweet Sorghum Production to Support Energy and Industrial Products. North Carolina Cooperative Extension, p. 8 [in English].
25. Rao, P.S., & Shivashankar, M. (2019). Influence of row spacing and plant density on sugarcane sorghum growth. *Agricultural Journal of Crop Science*, 56 (3), 223–230 [in English].
26. Sawargaonkar, G.L., Patil, M.D., Wani, S.P., Pavani, E., Reddy, B., & Marimuthu, S. (2013). Nitrogen response and water use efficiency of sweet sorghum cultivars. *Field Crops Research*, 149, 245–251. URL: <https://oar.icrisat.org/6853> [in English].
27. Storozhyk, L.I., & Muzyka, O.V. (2018). The formation of structural parameters of the sugar sorghum crop depending on the elements of the growing technology. *The latest agricultural technologies*, (5), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.21498/na.5.2017.143946> [in English].
28. Tang, C.C., Sun, C.D., Du, F., Chen, F., Ameen, A., Fu, T.C., & Xie, G. H. (2018). Effect of Plant Density on Sweet and Biomass Sorghum Production on Semiarid Marginal Land. *Sugar Tech*. Vol. 20 (3). P. 312–322 [in English].

УДК 633.8: 631.53.04

Тарасюк В. А.

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та захисту рослин,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: valeratarasuk003@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4207-1013

Безвіконний П. В.

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри садово-паркового господарства,
геодезії та землеустрою,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: bezvikonnyy777@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4922-1763

Потапський Ю. В.

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри садово-паркового господарства, геодезії та землеустрою,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: yurapotap@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6446-9471

УДОСКОНАЛЕННЯ АГРОТЕХНІКИ ВИРОЩУВАННЯ НАГІДОК ЛІКАРСЬКИХ (*CALENDULA OFFICINALIS L.*) В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ

Анотація

У статті викладено результати вивчення особливостей формування продуктивності нагідок лікарських (*Calendula officinalis L.*) сорту «Сонячна красуня» та обґрунтування прийомів отримання високої врожайності насіння з оптимальними показниками якості.

Встановлено, що від застосування регулятора росту рослин Стимпо схожість підвищилася на 7%, Регопланту – на 3%, порівняно з контрольним варіантом. Також за роки досліджень ефективність регуляторів підвищувалася від першого строку сівби до третього.

У результаті аналізу структури врожаю відзначено, що кількість насінневих кошиків на одному метрі змінувалася за роками і залежала від досліджуваних факторів. Найбільшу їх кількість сформовано в середньому у 2022 році (328,1 шт.), найменшу – у 2023 році (258,3 шт.). Відзначено тенденцію до збільшення кількості кошиків на одиницю площі за використання регуляторів росту. Обробка насіння і вегетуючих рослин препаратом Стимпо забезпечила надбавку щодо контролю 54,6 шт., а препаратом Регоплант – 30,2 шт. на 1 м².

Крім цього, відзначено, що маса насіння з одиниці площі від першого строку сівби до третього зменшується, але від застосування препарату Стимпо збільшується на 34,8 г/м², Регопланту – на 19,9 г/м². Максимальну масу насіння отримано за використання регулятора росту Стимпо у перший строк сівби – 139,4 г/м², мінімальну – у контролі за третього строку сівби – 84,7 г/м².

Встановлено, що строки сівби мали істотний вплив на вихід кондиційного насіння. Так, вихід кондиційного насіння з гектара за першого строку сівби становив 991 кг, що на 177 кг (18%) більше, ніж за другого і на 211 кг (22%) більше, ніж за третього строку сівби. Регулятори росту (незалежно від інших факторів) істотно збільшували вихід насіння, при цьому від застосування препарату Стимпо він був вищим на 168 кг/га, а Регопланту – на 159 кг/га. Однак ефективність препаратів була вищою за першого та другого строків сівби. Прибавка до контролю за першого строку сівби від використання регулятора росту Стимпо становила 241,0 кг/га, Регопланту – 169,5 кг/га, за третього строку – 241,5 кг/га та 166,5 кг/га відповідно.

Обробка посівів нагідок лікарських сорту «Сонячна красуня» десикантом Спекта збільшувала вихід кондиційного насіння до 84,2% проти 74,4% на контролі.

Ключові слова: нагідки лікарські, строк сівби, агроекологічні умови, польова схожість, виживання рослин, регулятори росту рослин, десикація.

Вступ. Лісостеп західний України за своїми агрокліматичними умовами сприятливий для вирощування багатьох лікарських рослин, вживаних у науковій і народній медицині. Одними з найбільш поширених в культурі лікарських рослин є нагідки лікарські (*Calendula officinalis* L.) [6].

За статистичними даними нагідки лікарські за популярністю й широтою використання посідають друге місце й поступаються тільки ромашці, випередивши при цьому шавлію, валеріану, звіробій і багато інших відомих лікарських рослин [8].

Корисні властивості нагідок засновані на комплексі біологічно активних речовин, що включає каротиноїди, стерини, тритерпеноїди, ефірні масла, флавоноїди, кумарини та інші речовини [7].

Основною діючою речовиною суцвіть нагідок є каротиноїди – жиророзчинні рослинні пігменти, що належать до тетратерпенів. На основі каротиноїдів нагідок випускаються протизапальні препарати.

На врожайність і якість сировини нагідок впливає низка технологічних заходів, зокрема строки сівби, ширина міжрядь, застосування мінеральних добрив, регуляторів росту рослин [11].

Численними дослідженнями, які було проведено у різні роки в різних ґрунтово-кліматичних зонах, було встановлено, що строки сівби нагідок не лише впливають на особливості росту, розвитку, морфо-біологічну структуру рослин, але й суттєво змінюють її індивідуальну продуктивність та урожайність [10].

Р. В. Мельничук, Н. І. Куценко [5] зазначають, що запізнювання зі строком сівби на декаду (з 19 квітня до 30 квітня) у два рази знижувало врожайність квіток і насіння нагідок, негативно впливало на ріст та розвиток рослин.

Обробка насіння регуляторами росту дає змогу підвищити схожість і стимулювати розвиток проростків. Так, застосування регуляторів росту сприяло підвищенню схожості насіння нагідок сорту Сахаровська жовтогаряча вдвічі й більше, збільшенню на 20–25% довжини кореня і стебла [1].

На заході України (Львівська область) також здійснено науковий пошук щодо впливу біологічних факторів на урожайність та якість сировини нагідок лікарських. Науковці доводять, що біостимулятори росту сприяють вірогідному підвищенню морфометричних показників (висоти, кількості квіткових кошиків на рослині та їхнього діаметра) рослин *C. officinalis* L. Найбільша кількість суцвіть на одній рослині 16,7 од. із середнім діаметром 5,8 см встановлена за внесення Вермимагу [4; 9].

Низка авторів вважає, що застосування регуляторів росту на посівах нагідок лікарських сприяло підвищенню урожайності повітряно-сухих суцвіть культури на 0,12–0,26 т/га. Урожайність на варіантах із обприскуванням посівів у фазі бутонізації регуляторами росту Авангард Стимул та Азотофіт Р підвищилась порівняно з контролем на 0,2 та 0,26 т/га відповідно. Завдяки Азотофіту Р урожайність суцвіть нагідок підвищилась на 15,2%, здебільшого це відбулось за рахунок властивості препарату прискорювати та подовжувати період цвітіння рослин [3].

Тому вдосконалення традиційних та запровадження сучасних елементів технологій вирощування нагідок лікарських є дуже актуальними.

Мета роботи полягає у вивченні особливостей формування продуктивності нагідок лікарських (*Calendula officinalis* L.) сорту «Сонячна красуня» та обґрунтуванні прийомів отримання високої врожайності насіння з оптимальними показниками якості.

Дослідження проводились на дослідному полі ФОП «Прудивус» впродовж 2021–2023 років.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний, малогумусний, середньосуглинковий на лесовидних суглинках. Вміст гумусу (за Тюрнімом) в шарі ґрунту 0–3 см становить 3,9–4,4%. Вміст сполук азоту, що легко гідролізуються (за Корнфілдом), становить 102–145 мг/кг (високий), рухомого фосфору (за Чіріковим) – 137–175 мг/кг (високий), а обмінного калію (за Чіріковим) – 143–171 мг/кг ґрунту (високий). Гідролітична кислотність становить 18–23 мг екв./кг, ступінь насичення основами – 88%.

Схема досліді: *Фактор А – строк посіву:* 1-й строк сівби (контроль) – сівба за рівня термічного режиму (РТР) ґрунту на глибині загортання насіння 5–6°C; 2-й строк сівби – сівба за рівня термічного режиму (РТР) ґрунту на глибині загортання насіння 7–8°C; 3-й строк сівби – сівба за рівня термічного режиму (РТР) ґрунту на глибині загортання насіння 9–10°C. *Фактор В – обробка насіння і посівів регуляторами росту:* 1. Контроль. Обробка насіння і посівів у фазу розетки (3–5 листків) водою. 2. Стимпо – обробка насіння (0,25 мл/10 кг насіння) + обприскування у фазу розетки – 3–5 листків (20 мл/га, витрата робочої рідини – 300–400 л/га). 3. Регоплант – обробка насіння (2,5 мл /10 кг насіння) + обприскування у фазу розетки – 3–5 листків (50 мл/га, витрата робочої рідини – 300–400 л/га). *Фактор С – спосіб збирання на насіння:* 1. Збирання двофазне (скошування у валки з подальшим обмолотом) без десикації. 2. Збирання однофазне (без скошування у валки) з попередньою десикацією (Спека – 2–3 л/га).

Попередник у досліді – шавлія мускатна. Повторність досліді – чотириразова, розміщення ділянок систематичне. Площа облікової дослідної ділянки – 54 м², загальної – 65 м². Норма висіву насіння – 8 кг/га. Сорт нагідок лікарських – Сонячна красуня.

Насіння обробляли препаратами Стимпо і Регоплант методом вологого протруювання, згідно з інструкцією із застосування, обприскування вегетуючих рослин нагідок лікарських проводили у фазу розетки 3–5 листків.

Десикацію рослин проводили препаратом Спека з нормою витрат 2–3 л/га у фазу технічної стиглості насіння, збирання нагідок лікарських на насіння проводили під час побуріння у більшості рослин 70–80% кошиків.

Фенологічні спостереження, біометричні і фізіолого-біохімічні дослідження проводили за методиками Г. Л. Бондаренка, К. І. Яковенка [2].

Виклад основного матеріалу дослідження. Найважливішим елементом агроценозу є число рослин на одиниці площі, яке змінюється впродовж усього вегетаційного періоду. У дослідженнях виявлено коливання польової схожості за роками та варіантами від 73 до 94%. Найсприятливішим був 2023 рік, коли в середньому за варіантами схожість становила 90%, а 2022 року вона знижувалася до 83%, що пов'язано з відсутністю опадів і високою середньодобовою температурою в період появи сходів за другого і третього строків сівби.

Позитивний вплив на польову схожість чинили регулятори росту, що підтверджується й іншими вченими [1; 3; 4]. У середньому за роки досліджень від застосування регулятора росту рослин Стимпо схожість підвищилася на 7%, Регопланту – на 3%, порівняно з контрольним варіантом. Так, за три роки досліджень ефективність регуляторів підвищувалася від першого строку сівби до третього.

Залежно від варіантів досліду, збереженість рослин коливалася від 91 до 98%. Впродовж періоду вегетації спостерігалось незначне випадання рослин з тих чи інших причин. Часткову їхню загибель спостерігали в період сходів від пошкодження підгризаючими совками і під час травмування рослин в ході обробки міжрядь. Найнижчу збереженість рослин до періоду збирання насіння спостерігали у 2022 році, але на посівах першого строку вона була вищою на 2%. Застосування Стимпо позитивно впливало на стійкість до несприятливих факторів, що привело до підвищення збереженості рослин на 3%, Регопланту – на 2%.

Значна частина висіяного насіння нагідок не бере участі у формуванні врожаю: 7–21% (у середньому 14%) не реалізується під час появи сходів, а 3–8% від рослин, що вже зійшли (у середньому 5%), гинуть упродовж вегетації, причому зріджування менше проявляється за використання регуляторів росту.

Урожайність з одиниці площі є комплексною величиною, утвореною взаємодією основних елементів продуктивності. Для агроценозу нагідок лікарських це число насінневих кошиків на одиниці площі, число насінин у кошику та маса насінини. Значення цих показників є результатом генетичної взаємодії багатьох зовнішніх і внутрішніх факторів.

Таблиця 1. Структура урожаю насіння нагідок лікарських сорту «Сонячна красуня», середнє за 2021–2023 роки

Строк сівби	Регулятор росту	Спосіб збирання	Густота рослин, шт./п. м	Кількість кошиків з 1 рослини	Кількість кошиків, шт./м ²	Діаметр кошика, см	Кількість насіння, шт.		Маса, г	
							з 1 рослини	з 1 м ²	насіння з рослини	насіння з 1 м ²
1-й строк сівби (контроль) – сівба за рівня термічного режиму (РТР) ґрунту на глибині загортання насіння 5–6°C	Контроль (обробка водою)	без десикації	24,9	6,2	297	2,5	202,7	9729	2,5	109,3
		десикація	24,9	6,2	297	2,5	202,7	9729	2,48	108
	Стимпо	без десикації	27,5	6,5	344,5	2,7	227,8	12120	2,85	139,4
		десикація	27,5	6,5	344,5	2,7	227,8	12120	2,81	137,7
	Регоплант	без десикації	26,5	6,4	326,6	2,6	221,8	11360	2,77	130,2
		десикація	26,5	6,4	326,6	2,6	221,8	11360	2,73	128,3
2-й строк сівби – сівба за рівня термічного режиму (РТР) ґрунту на глибині загортання насіння 7–8°C	Контроль (обробка водою)	без десикації	22,4	5,8	249,4	2,4	181,5	7805	2,28	87,2
		десикація	22,4	5,8	249,4	2,4	181,5	7805	2,26	86,1
	Стимпо	без десикації	25,5	6,2	304,2	2,6	208,5	10258	2,64	117,3
		десикація	25,5	6,2	304,2	2,6	208,5	10258	2,61	115,9
	Регоплант	без десикації	24,2	6,1	283,8	2,6	202,8	9456	2,56	107,5
		десикація	24,2	6,1	283,8	2,6	202,8	9456	2,53	106
3-й строк сівби – сівба за рівня термічного режиму (РТР) ґрунту на глибині загортання насіння 9–10°C	Контроль (обробка водою)	без десикації	22,2	5,7	242,8	2,4	176,1	7499	2,21	84,7
		десикація	22,2	5,7	242,8	2,4	176,1	7499	2,19	83,7
	Стимпо	без десикації	25,3	6,1	296,8	2,6	201,7	9838	2,55	113,3
		десикація	25,3	6,1	296,8	2,6	201,7	9838	2,52	112
	Регоплант	без десикації	23,7	6	273,3	2,5	194,9	8927	2,46	102,1
		десикація	23,7	6	273,3	2,5	194,9	8927	2,43	100,6

У результаті аналізу структури врожаю відзначено, що кількість насінневих кошиків на одному метрі змінювалася за роками і залежала від досліджуваних факторів. Найбільшу їх кількість сформовано в середньому у 2022 році (328,1 шт.), найменшу – у 2023 році (258,3 шт.) (табл. 1). Аналогічна тенденція зберігалася за всіма строками сівби, причому в середньому за три роки найбільша кількість кошиків закладалася за першого строку сівби – 322,7 шт. Отже, оптимальними для рослин нагідок лікарських були умови періоду закладання генеративних органів за першого строку сівби, особливо це проявилось в засушливих умовах весни 2022 року.

Відзначено тенденцію до збільшення кількості кошиків на одиниці площі під час використання регуляторів росту. Обробка насіння і вегетуючих рослин препаратом Стимпо забезпечила надбавку щодо контролю 54,6 шт., а препаратом Регоплант – 30,2 шт. на 1 м². Аналогічним чином впливали строки сівби та регулятори росту на кількість насінин з однієї рослини. Більш стабільною була маса 1000 насінин, яка в середньому за три роки становила 10,9–11,3 г, незалежно від досліджуваних факторів.

Маса насіння з одиниці площі залежала від густоти стеблостою, кількості насінневих кошиків і насіння на одній рослині. Від першого строку сівби до третього вона зменшується, але від застосування Стимпо збільшується на 34,8 г/м², Регопланту – на 19,9 г/м². Максимальну масу насіння отримано за використання регулятора росту Стимпо у перший строк сівби – 139,4 г/м², мінімальну – у контролі за третього строку сівби – 84,7 г/м².

Збирання насіння рекомендується проводити за настання фази технічної стиглості насіння, тобто побуріння 80% насінневих кошиків у більшості рослин. В умовах західного Лісостепу до моменту збирання насіння у нагідок лікарських на кожній рослині насінневого посіву спостерігається як повністю дозріле насіння, так і суцвіття з різним ступенем його стиглості, зокрема із зеленим забарвленням та молочною консистенцією. Крім того, рослини мають високу облистненість і здатність навіть у фазу технічної стиглості насіння зберігати соковите стебло і листя. Вологість загальної біомаси становить 70–75%. У зв'язку з цим виникають додаткові труднощі під час збирання насіння.

Застосування десикації дає можливість переривати ростові процеси та проводити хімічне підсушування рослин на корені.

Під час оброблення нагідок препаратом Спека ефект застосування видно вже наступного дня. Через п'ять днів висушування надземна частина мала вологість 21–23%. Отже, за допомогою десиканта Спека вдалося скоротити вміст вологи в рослинній масі в середньому на 50% і створити оптимальні умови для прямого комбайнування насінників.

Важливою умовою для отримання якісного насінневого матеріалу є збирання насінників за оптимальної вологості насіння. У середньому за три роки їхня вологість на момент збирання, залежно від інших досліджуваних чинників, змінювалася на контролі з 16,5 до 17,8%, а за обробки препаратом Спека – з 13,1 до 13,6%.

Основним показником у насінництві сільськогосподарських культур є вихід кондиційного насіння. Після приведення врожайності до стандартних показників відсоток виходу насіння нагідок в середньому за три роки (незалежно від досліджуваних факторів) становив 79,3%. Основним фактором, що впливає на цей показник, є обробка посівів десикантом Спека, яка збільшувала вихід насіння до 84,2%, проти 74,4% на контролі.

Середній вихід кондиційного насіння, незалежно від досліджуваних факторів, становив 861,5 кг/га, а найбільшим був у 2022 році – 1093,4 кг/га (табл. 2). Найнижчий вихід кондиційного насіння отримано 2023 року – 670,9 кг/га, середнім за врожайністю був 2021 рік – 820,3 кг/га.

Істотний вплив на вихід кондиційного насіння мали строки сівби. Так, вихід кондиційного насіння з гектара за першого строку сівби становив 991 кг, що на 177 кг (18%) більше, ніж за другого і на 211 кг (22%) більше, ніж за третього строку сівби.

Таблиця 2. Вплив елементів технології на вихід кондиційного насіння нагідок лікарських сорту «Сонячна красуня» (2021–2023 роки)

Варіант	Вихід кондиційного насіння, кг/га			
	2021 рік	2022 рік	2023 рік	Середнє
1-й строк сівби (контроль) – сівба за рівня термічного режиму (РТР) ґрунту на глибині загорання насіння 5–6°C	901	1 316	756	991
2-й строк сівби – сівба за рівня термічного режиму (РТР) ґрунту на глибині загорання насіння 7–8°C	780	1 003	658	814
3-й строк сівби – сівба за рівня термічного режиму (РТР) ґрунту на глибині загорання насіння 9–10°C	779	961	599	780
НІР ₀₅ Фактор А	15	30	14	20
Контроль (обробка водою)	720	907	561	729
Стимпо	909	1237	753	966
Регоплант	832	1136	698	889
НІР ₀₅ Фактор В	15	30	14	20
Без десикації	765	1036	642	814
Десикація	876	1151	700	909
НІР ₀₅ Фактор С	12	24	12	16

Регулятори росту (незалежно від інших факторів) істотно збільшували вихід насіння, при цьому від застосування препарату Стимпо він був вищим на 168 кг/га, а Регопланту – на 159 кг/га. Однак ефективність препаратів була вищою за першого та другого строків сівби. Прибавка до контролю за першого строку сівби від використання регулятора росту Стимпо становила 241,0 кг/га, Регопланту – 169,5 кг/га, за третього строку – 241,5 кг/га та 166,5 кг/га відповідно.

Слід відзначити, що десикація дає змогу суттєво (на 95 кг/га) підвищити вихід кондиційного насіння. В результаті досліджень ми спостерігали тенденцію до підвищення її ефективності на тлі застосування регуляторів росту. За комплексного використання препаратів Стимпо і Спека прибавка становила 108 кг/га, Регоплант і Спека – 95 кг/га, а на контрольному варіанті без застосування регуляторів – 85 кг/га. Ефективність десикації вища за першого строку сівби.

Виявлено, що на врожайність насіння більшою мірою впливають обробка регуляторами росту (45%) і строки сівби (40%). Частка впливу десикації становила лише 14%.

Висновки. В ході дослідження встановлено, що в умовах західного Лісостепу позитивний вплив на польову схожість мали регулятори росту, причому від застосування препарату Стимпо вона підвищувалася на 7%, Регопланту – на 3% відносно контролю, а збереженість збільшувалася на 3% і 2% відповідно. Їхня ефективність підвищувалася від першого строку до третього. Обробка посівів нагідок лікарських сорту «Сонячна красуня» десикантом Спека збільшувала вихід кондиційного насіння до 84,2% проти 74,4% на контролі, причому максимум (991 кг/га) отримали за першого строку сівби, що на 18% більше, ніж за другого та на 22% більше, ніж за третього строків. Застосування регуляторів росту істотно підвищувало вихід насіння. За першого строку сівби прибавка від застосування препарату Стимпо становила 241,0 кг/га, а Регопланту – в 1,4 рази менше.

Список використаних джерел

1. Безвіконний П.В., Тарасюк В.А., Потапський Ю.В. Вплив біостимуляторів росту на біометричні показники живців хризантеми садової великоквіткової. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. № 38. С. 9–14.
2. Бондаренко Г.Л., Яковенко К.І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків: Основа, 2001. 370 с.
3. Вітровчак Л.А., Строяновський В.С., Паращук В.В. Регулятори росту рослин – ефективний спосіб підвищення урожайності лікарських рослин. *Таврійський науковий вісник: Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 128. С. 57–62.
4. Лупак О.М., Антоняк Г.М., Шпек М.О. Формування продуктивності *Calendula officinalis L.* залежно від внесення стимуляторів росту та ґрунтовокліматичних умов культивування. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2016. № 20. С. 60–65.
5. Мельничук Р.В., Куценко Н.І. Оцінка різноманіття роду *Calendula* для формування колекції сортів з еталонними ознаками. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2015. № 3–4 (28–29). С. 18–23. [https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4\(28-29\).2015.58441](https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4(28-29).2015.58441).
6. Сухар С.В. Продуктивність нагідок лікарських в лісостепу західному України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2012. Вип. 4(1). С. 217–222.
7. Сухар С.В., Хоміна В.Я. Удосконалення елементів технології вирощування нагідок лікарських в умовах Лісостепу західного: монографія. Ніжин: ПП «Лисенко», 2015. 144 с.
8. Хоміна В.Я., Ранчук Д.І. Нагідки лікарські – в умовах Лісостепу Західного. *Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика зб. тез доп. II Міжнар. наук. інтернет-конф.* Тернопіль, 2020. С. 195–196.
9. Lupak O. Biochemical indices of prooxidant-antioxidant processes in *Calendula officinalis L.*, grown under the influence of growth biostimulants. *Scientific Journal of Polonia University*. 2019. Vol. 34. No. 3. P. 113–119.
10. Myalkovsky R., Plahtiy D., Bezikonnyi P., Horodyska O., Nebaba K. Urban parks as an important component of environmental infrastructure: *Biodiversity conservation and recreational opportunities Scientific Journal Ukrainian Journal of Forest & Wood Science*. 2023. Vol 14. Issue 4. P. 57–72.
11. Padalko T. Dynamics of growth and development of *Calendula* plants (*Calendula officinalis L.*) according to the duration and phases of vegetation in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Scientific World Journal*. 2024. Vol. 23, no. 2. P. 72–78. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-23-00-055>.

Tarasiuk V. A.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Agriculture, Soil Science and Plant Protection,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: valeratarasuk003@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4207-1013*

Bezvikonnyy P. V.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Landscaping, Geodesy and Land Management,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: peterua@meta.ua
ORCID: 0000-0003-4922-1763*

Potapsky Yu. V.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor of the Department of Landscaping, Geodesy and Land Management,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: yurapotap@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6446-9471*

IMPROVEMENT AGROTECHNICS OF GROWING *CALENDULA OFFICINALIS L.* IN THE WESTERN FOREST-STEPPE

Abstract

*The article presents the results of the study of the features of the formation of the productivity of calendula (*Calendula officinalis L.*) of the "Sonyachna Krasunya" variety and the substantiation of techniques for obtaining high yield of seeds with optimal quality indicators.*

It was found that the use of the plant growth regulator Stimpo increased germination by 7%, and Regoplant by 3%, compared to the control variant. Also, over the years of research, the effectiveness of the regulators increased from the first sowing date to the third.

As a result of the analysis of the yield structure, it was noted that the number of seed baskets per metre varied over the years and depended on the factors studied. The largest number of them was formed on average in 2022 (328.1 pcs.), the smallest number in 2023 – 258.3 pcs. There is a tendency to increase the number of baskets per unit area when using growth regulators. The treatment of seeds and vegetative plants with Stimpo provided an increase in control of 54.6 units, and Regoplant – 30.2 units per 1 m².

In addition, it was noted that the weight of seeds per unit area decreases from the first sowing period to the third, but the use of Stimpo increases by 34.8 g/m², and Regoplant – by 19.9 g/m². The maximum seed weight was obtained with the use of Stimpo growth regulator in the first sowing term – 139.4 g/m², the minimum – in the control at the third sowing term – 84.7 g/m².

It was found that sowing dates had a significant impact on the yield of conditioned seeds. Thus, the yield of conditioned seeds per hectare at the first sowing date was 991 kg, which is 177 kg (18%) more than at the second and 211 kg (22%) more than at the third sowing date. Growth regulators (regardless of other factors) significantly increased seed yields, with Stimpo yielding 168 kg/ha higher and Regoplant 159 kg/ha higher. However, the effectiveness of the preparations was higher at the first and second sowing dates. The increase to the control at the first sowing date from the use of Stimpo growth regulator was 241.0 kg/ha, Regoplant – 169.5 kg/ha, at the third sowing date – 241.5 kg/ha and 166.5 kg/ha, respectively.

The treatment of calendula of the "Sonyachna Krasunya" variety with Speka desiccant increased the yield of conditioned seeds to 84.2% against 74.4% in the control.

Key words: *calendula, sowing time, agro-ecological conditions, field germination, plant survival, plant growth regulators, desiccation.*

References

1. Bezvikonnyy P.V., Tarasiuk V.A., Potapsky Yu.V. (2023). Vplyv biostymulatoriv rostu na biometrychni pokaznyky zhyvtsiv khryzantemy sadovoi velykokvitkovoi [Influence of growth bio-stimulators on the biometric indicators of cuttings of garden large-flowered chrysanthemum]. Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika – Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics, iss. 38, pp. 9–14 [in Ukrainian].
2. Bondarenko, H.L., Yakovenko, K.I. (eds.) (2001). Metodyka doslidnoi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi [Methodology of experimental work in vegetable growing and melon growing]. Kharkiv: Osnova [in Ukrainian].
3. Vitrovchak L.A., Stroianovskiy V.S., Parashchuk V.V. (2022). Rehulatory rostu roslyn – efektyvnyi sposib pidvyshchennia urozhaivnosti likarskykh roslyn [Plant growth regulators are an effective way to increase the yield of medicinal plants]. Tavriiskiy naukoviy visnyk – Taurian Scientific Bulletin, iss. 128, pp. 57–62 [in Ukrainian].

4. Lupak O.M., Antoniuk H.M., Shpek M.O. (2016). Formuvannia produktyvnosti *Calendula officinalis* L. zalezno vid vnesennia stymuliatoriv rostu ta gruntovoklimatychnykh umov kultyvuvannia [Formation of productivity of *Calendula officinalis* L. depending on the application of growth stimulants and soil and climatic conditions of cultivation]. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahronomiia – Bulletin of Lviv National Agrarian University: Agronomy, iss. 20, pp. 60–65 [in Ukrainian].
5. Meljnychuk, R.V., & Kucenko, N.I. (2015). Ocinka riznomanittja rodu *Calendula* dlja formuvannja kolekciji sortiv z etalonnymi oznakamy [Evaluation of the diversity of the genus *Calendula* for the formation of a collection of varieties with reference characteristics]. Sortovyvchennja ta okhorona prav na sorty roslyn – Varietal research and protection of rights to plant varieties, iss. 3–4 (28–29), pp. 18–23. [https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4\(28-29\).2015.58441](https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4(28-29).2015.58441) [in Ukrainian].
6. Sukhar S.V. (2012). Produktyvnist nahidok likarskykh v lisostepu zakhidnomu Ukrainy [Productivity of medicinal marigolds in the forest-steppe of western Ukraine]. Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria – Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral, iss. 4 (1), pp. 217–222 [in Ukrainian].
7. Sukhar, S.V., & Khomina, V.Ja. (2015). Udoskonalennja elementiv tekhnologhiji vyroshhuvannja naghidok likarskykh v umovakh Lisostepu zakhidnoho: monohrafija [Improving the elements of the technology of growing medicinal plants in the conditions of the Western Forest Steppe: a monograph]. Nizhyn: PP “Lysenko” [in Ukrainian].
8. Khomina V.Ya., Ranchuk D.I. (2020). Nahidky likarski – v umovakh Lisostepu Zakhidnoho [Calendula – in the conditions of the Western Forest-Steppe]. Suchasnyi stan nauky v silskomu hospodarstvi ta pryrodokorystuvanni: teoriia i praktyka : zb. tez dop. II Mizhnar. Nauk. Internet-konf. – The current state of science in agriculture and nature management: theory and practice: abstracts of the II International Scientific, pp. 195–196 [in Ukrainian].
9. Lupak O. (2019). Biochemical indices of prooxidant-antioxidant processes in *Calendula officinalis* L., grown under the influence of growth biostimulants. Scientific Journal of Polonia University, iss. 34 (3), pp. 113–119 [in Poland].
10. Myalkovsky R., Plahtiy D., Bezikonnyi P., Horodyska O., Nebaba K. (2023). Urban parks as an important component of environmental infrastructure: Biodiversity conservation and recreational opportunities Scientific Journal Ukrainian Journal of Forest & Wood Science, iss. 14 (4), pp. 57–72 [in Ukrainian].
11. Padalko, T. (2024). Dynamics of growth and development of plants (*Calendula officinalis* L.) according to the duration and phases of vegetation in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. Scientific World Journal, iss. 23 (2), pp. 72–78 [in English].



ЕКОНОМІКА

УДК 620.92:621.311(477):355.58

Печенюк А. В.

кандидат економічних наук,
доцент кафедри енергозберігаючих технологій
та енергетичного менеджменту,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: apvaspe@meta.ua
ORCID: 0000-0002-8348-5044

Гарасимчук І. Д.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри електротехніки, електромеханіки і електротехнологій,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: igorgarasymchuk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4304-4447

Панцир Ю. І.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри електротехніки, електромеханіки і електротехнологій,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: panziruriy@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2969-1936

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Анотація

Відновлювана енергетика залишається стратегічним напрямом розвитку України, особливо в умовах воєнного стану. Війна суттєво вплинула на енергетичний сектор, зокрема на відновлювані джерела енергії (ВДЕ). Руїнування інфраструктури, окупація територій і економічна нестабільність створили серйозні виклики для галузі, яка до початку війни демонструвала активне зростання. Незважаючи на це, розвиток відновлюваної енергетики є ключовим для зменшення залежності від викопних джерел енергії, підвищення енергетичної безпеки та інтеграції в європейську енергетичну систему.

Мета дослідження полягає в аналізі перспектив та викликів, які постали перед сектором ВДЕ в Україні, визначенні стратегічних напрямів його відновлення й адаптації до нових умов. Основні проблеми включають зниження інвестиційної привабливості, руїнування об'єктів, складнощі з фінансуванням та затримки з виплатами за «зеленим» тарифом.

Разом із викликами війна створила нові можливості, зокрема розвиток децентралізованої енергетики, мікромереж і біоенергетики, які сприяють автономності та стійкості енергопостачання. Окрема увага приділяється ролі ВДЕ у відновленні сільських громад, забезпеченні критичної інфраструктури та інтеграції сучасних технологій.

Аналіз перспектив демонструє, що за підтримки міжнародних партнерів, вдосконалення правового регулювання та стимулювання інвестицій відновлювальна енергетика може стати важливим фактором сталого розвитку України.

Ключові слова: відновлювальна енергетика, відновлювані джерела енергії, воєнний стан, енергетична інфраструктура, сільські території, автономне енергопостачання.

Вступ. Відновлювана енергетика є стратегічним напрямом для України в умовах війни та післявоєнного відновлення. Військовий конфлікт, що триває з 2022 року, суттєво вплинув на енергетичну галузь країни, включаючи сектор відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Окупація територій, руйнування інфраструктури та економічна нестабільність створили безпрецедентні виклики для галузі, яка до війни демонструвала динамічний розвиток.

Актуальність проблеми визначається кількома ключовими аспектами. У контексті військової агресії Росії Україна потребує зменшення залежності від централізованих джерел енергії та фокусування на децентралізованих, локальних рішеннях, які забезпечують стабільність постачання енергії навіть у кризових умовах. Україна продовжує синхронізацію своєї енергетичної системи з європейською, що вимагає модернізації та адаптації до високих стандартів, у тому числі розвитку ВДЕ.

Попри складнощі, відновлювана енергетика залишається привабливою для інвестицій завдяки міжнародній підтримці та європейському курсу України. Стимулювання цього сектору може стати важливим драйвером економічного зростання після війни. Використання відновлюваних джерел енергії є критично важливим для боротьби зі зміною клімату та зменшення екологічних ризиків, які загострилися через військові дії. Проблема шляхів розвитку відновлювальної енергетики України в умовах воєнного стану є актуальною через необхідність пошуку рішень для подолання викликів, зокрема руйнування інфраструктури, дефіциту фінансування та адаптації галузі до нових реалій. Аналіз перспектив і викликів розвитку ВДЕ дозволяє сформулювати дорожню карту для їхнього відновлення та ефективного розвитку у складних умовах сьогодення.

Мета роботи. Аналіз перспектив та викликів розвитку відновлюваної енергетики України в умовах воєнного стану, визначення основних проблем, що стримують реалізацію проектів у цій сфері, а також окреслення можливостей та стратегічних рішень для забезпечення енергетичної безпеки та сталого відновлення енергетичного сектору країни.

Виклад основного матеріалу дослідження. До початку воєнного конфлікту Україна демонструвала значний прогрес у розвитку відновлювальної енергетики (ВДЕ). В рамках зобов'язань перед Європейським Союзом та Паризької кліматичної угоди країна активно розвивала сектор, спрямований на зменшення вуглецевого сліду та підвищення енергетичної незалежності [18].

Україна стала привабливою для міжнародних інвесторів завдяки «зеленому тарифу», який був одним із найвищих у Європі. У галузь залучено понад \$10 млрд інвестицій.

В країні спостерігався динамічний розвиток децентралізованих систем енергозабезпечення:

- стрімко зростала кількість домогосподарств із сонячними панелями;
- відбувався розвиток мікрогридів та автономних енергетичних систем.

У 2021 році виробництво електроенергії з відновлюваних джерел сягнуло 8,1% від загального обсягу, що еквівалентно 12,8 ТВт·год. З них 56% припадало на сонячні електростанції, 33% – на вітрові, близько 8% забезпечували біомаса та біогаз, а ще 3% вироблялися малими гідроелектростанціями [10].

У 2022 році Україна підготувалася до синхронізації з європейською енергетичною системою ENTSO-E, що мало зміцнити її енергетичну незалежність.

Основними викликами перед відновлювальною енергетикою України залишалися:

- нерівномірність розвитку галузі через адміністративні бар'єри та недостатню розвиненість інфраструктури;
- проблеми балансування енергосистеми через велику частку нестабільних джерел енергії;
- значна залежність від імпорту обладнання для ВДЕ.

Проте, попри серйозні виклики, до 2022 року Україна заклала міцний фундамент для переходу до «зеленої» економіки. Енергетична стратегія до 2035 року передбачала збільшення частки ВДЕ до 25%, що свідчило про стратегічну важливість цього напрямку для сталого розвитку країни [12]. Розпорядження втратило чинність 21 квітня 2023 року.

Воєнний стан, введений в Україні після початку повномасштабної агресії росії, суттєво вплинув на сектор відновлювальної енергетики. Руйнівні дії ворога та економічна нестабільність створили низку проблем, які сповільнили розвиток галузі, але також відкрили нові можливості для адаптації.

Значна частина сонячних і вітрових електростанцій, розташованих у зоні активних бойових дій, були пошкоджені або повністю зруйновані. Особливо постраждали південні області (Херсонська, Миколаївська, Запорізька), де були зосереджені значні потужності ВДЕ.

Об'єкти на тимчасово окупованих територіях були відключені від загальної енергосистеми або використовуються ворогом.

У 2022 році через російське вторгнення Україна втратила доступ до близько 25% встановлених потужностей відновлюваної енергетики. Найбільше постраждали вітрові електростанції: близько 75% їхніх потужностей (приблизно 1,25 ГВт) опинилися на окупованих територіях Херсонської та Запорізької областей. У зоні окупації також перебуває близько 14% сонячних електростанцій, що становить понад 0,6 ГВт.

Попри ці втрати, відновлювані джерела енергії залишаються важливою складовою енергосистеми країни. У 2023 році близько 10% електроенергії було вироблено завдяки сонячній та вітровій енергії. Якщо врахувати виробництво електроенергії великими гідроелектростанціями, загальна частка «зеленої» енергії перевищила 20% [11].

Війна, розв'язана Росією проти України, суттєво вплинула на інвестиційну привабливість сектору відновлюваної енергетики. Ескалація бойових дій, руйнування інфраструктури та економічна нестабільність стали основними причинами різкого скорочення потоків інвестицій у галузь.

Серед основних факторів, які вплинули на зниження інвестиційної привабливості галузі слід виділити:

- фізичне знищення та окупація об'єктів ВДЕ, – значна частина потужностей, зокрема вітрових і сонячних електростанцій, розташована в регіонах, що опинилися під окупацією або зазнали руйнувань внаслідок обстрілів. Інвестори з обережністю ставляться до таких ризиків, оскільки відновлення об'єктів потребує значних фінансових витрат»;

- фінансова нестабільність, – економічна криза, спричинена війною, обмежила доступ до кредитування та значно ускладнила можливість залучення коштів для нових проєктів. Висока інфляція і девальвація гривні також створюють додаткові фінансові бар'єри;

- зміна пріоритетів інвесторів, – в умовах війни більшість інвесторів переорієнтувалися на підтримку гуманітарних проєктів і відновлення критично важливої інфраструктури, що зменшило фінансовий потік у відновлювану енергетику;

- затримки з виплатами за «зеленим» тарифом, – енергетична криза та дефіцит коштів на енергетичному ринку призвели до накопичення боргів перед виробниками «зеленої» енергії, що посилює недовіру інвесторів до галузі;

- відсутність гарантій безпеки інвестицій, – війна значно підвищила рівень ризиків для довгострокових інвестицій, оскільки жодні гарантії безпеки капіталу в умовах військових дій не можуть бути забезпечені [7].

Однією з найгостріших проблем енергетичного сектору України в умовах воєнного стану стала заборгованість перед виробниками «зеленої» енергії. Система «зелених» тарифів, яка свого часу забезпечила швидкий розвиток відновлюваної енергетики, нині перебуває під значним фінансовим тиском через обмеженість ресурсів та кризові умови.

Серед основних причини заборгованості можна виділити наступні фактори:

- Енергетична криза, спричинена війною. Російська агресія зруйнувала значну частину енергетичної інфраструктури, зокрема й тієї, що забезпечувала виробництво та споживання відновлюваної енергії. Це призвело до зниження доходів енергоринку, зокрема ДП «Гарантований покупець», відповідального за виплати за «зеленим» тарифом.

- Дефіцит фінансових ресурсів. Зростання витрат на відновлення енергосистеми та забезпечення базових потреб енергетичного сектора спрямувало державні кошти на інші пріоритети, залишаючи виробників ВДЕ без необхідних виплат.

- Зміни в структурі попиту та споживання. Війна змінила географію та обсяги споживання електроенергії. Частина промислових споживачів, які забезпечували значні надходження до енергоринку, припинили діяльність, що погіршило фінансовий стан ринку електроенергії.

- Складнощі із залученням додаткового фінансування. Обмежений доступ до міжнародних кредитів і інвестицій у сектор енергетики ускладнює вирішення проблеми заборгованості [17].

Наслідком такої заборгованості стали фінансові труднощі у виробників, – невідплата за «зеленим» тарифом змушують компанії скорочувати персонал, заморожувати нові проєкти та шукати альтернативні джерела фінансування.

Масовані ракетні удари по енергетичній інфраструктурі вплинули на здатність енергосистеми ефективно інтегрувати нестабільні джерела енергії, такі як сонце і вітер. Якщо до війни альтернативна енергетика були одним із головних напрямів модернізації енергетичної системи України, то бойові дії створили серйозні ризики та обмеження для її функціонування.

Ураження електромереж, підстанцій і ліній електропередач перервало зв'язок між об'єктами генерації та споживачами, що призвело до частих відключень або обмеження постачання електроенергії. До того ж через активні бойові дії та мінування територій обслуговування і ремонт об'єктів ВДЕ часто є небезпечним або неможливим. Через втрату частини потужностей ВДЕ Україна змушена збільшувати використання традиційних джерел енергії, зокрема газу та вугілля [8].

Загальний обсяг енергії, що генерується ВДЕ, зменшився через руйнування та відключення об'єктів. На початку війни приблизно 25% встановлених потужностей ВДЕ опинилися під окупацією. Особливо постраждали вітрові електростанції: 75% встановленої потужності ВЕС (близько 1,25 ГВт) знаходяться на окупованих територіях Херсонської та Запорізької областей. Також в окупації перебуває близько 14% сонячних електростанцій (понад 0,6 ГВт) [1].

Слід зазначити, що в умовах війни спостерігаються нові виклики розвитку відновлювальної енергетики в Україні:

- Логістичні проблеми постачання обладнання, які виникли через перебої в транспортуванні, обмеження доступу до ресурсів, підвищені ризики безпеки та фінансові труднощі.

- Вплив міграції населення та скорочення споживання енергії. У районах, де відбувається масова евакуація, знижується потреба в енергопостачанні, що може уповільнити розвиток місцевих проєктів ВДЕ. Виїзд спеціалістів з енергетики за кордон або їх мобілізація уповільнюють впровадження проєктів ВДЕ.

13 серпня 2024 року Кабінет Міністрів України ухвалив Національний план дій у сфері відновлюваної енергетики до 2030 року. Цей документ враховує сучасний стан енергетичного сектору, зобов'язання України перед Європейським Союзом, а також прагнення залучити місцеві та міжнародні інвестиції в розвиток галузі.

Реалізація плану передбачає досягнення таких ключових цілей:

- підвищення частки відновлюваних джерел у загальному енергоспоживанні до 27% до 2030 року;
- будівництво офшорних вітрових електростанцій потужністю 100 МВт;
- інтеграцію норм законодавства ЄС у сферу відновлюваної енергетики;
- залучення інвестицій, сучасних технологій і інтелектуальних розробок для розвитку відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива [11].

Особливої актуальності для України в умовах війни набуває децентралізація енергетики. Цей підхід до організації енергосистеми передбачає створення локальних джерел генерації та споживання енергії, що забезпечує більшу гнучкість і стійкість енергопостачання, зокрема в кризових умовах.

Перевагами децентралізованої енергетики в умовах війни є:

- 1) підвищення енергетичної безпеки, – локальні мінімережі та автономні джерела енергії знижують залежність від центральних енергосистем, які можуть стати цілями обстрілів або диверсій;
- 2) гнучкість системи, – децентралізовані об'єкти легше інтегрувати в пошкоджену енергосистему, оскільки вони можуть функціонувати незалежно від великих енергетичних вузлів;
- 3) швидке відновлення інфраструктури, – малопотужні локальні установки, такі як домашні сонячні електростанції або міні-гідроелектростанції, можна швидше відновити або замінити у випадку пошкодження;
- 4) можливість автономного енергозабезпечення, – використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у поєднанні з системами накопичення енергії забезпечує автономне енергопостачання громад, підприємств і критичної інфраструктури [2].

Слід зазначити, що установка сонячних панелей приватними домогосподарствами дозволяє забезпечити власні енергетичні потреби навіть у разі перебоїв із центральним енергопостачанням, встановлення сонячних електростанцій (СЕС) на дахах підприємств забезпечує стабільне енергопостачання виробничих процесів.

У контексті воєнного стану ряд вагомих переваг мають так звані мінімережі (microgrids) – це локальні енергетичні системи, які поєднують ВДЕ, накопичувачі енергії та традиційні джерела, і можуть працювати як у мережевому, так і в автономному режимі. У разі аварій або атак на основну мережу, мінімережа може забезпечувати безперервне постачання електроенергії, її легко адаптувати до потреб конкретного регіону або об'єкта (наприклад, лікарні, військової бази чи пункту обігріву) [14].

У воєнний час особливого значення набуває біоенергетичне виробництво, завдяки доступності ресурсів, швидкості впровадження та можливості підтримувати енергетичну автономність. Основні аспекти використання біоенергетики під час війни включають:

- використання локальних біоресурсів (сільськогосподарські, деревні та органічні відходи);
- виробництво біогазу (біогазові установки можуть забезпечувати локальне виробництво електрики, тепла та палива в умовах обмеженого доступу до традиційних ресурсів) [3];
- біопаливо для транспорту (використання рослинних олій чи жирів для виробництва палива, яке може застосовуватися у військовій техніці чи транспорті) [15];
- опалення укріплень (використання біомаси (пелет, брикетів) для обігріву бомбосховищ, пунктів обігріву та інших критичних об'єктів) тощо.

В критичних ситуаціях особливе значення відновлювана енергетика має для сільських територій, забезпечуючи стійкість, автономність та розвиток місцевих громад. З цієї позиції її значення можна розглянути в кількох аспектах:

- Автономне енергопостачання. Сільські території можуть використовувати місцеві джерела відновлюваної енергії (сонце, вітер, біомаса), що мінімізує залежність від централізованих систем, які часто стають мішенню під час бойових дій.
- Резервування енергії. Використання акумуляторів та мікрогрід-систем для забезпечення енергетичної безперервності в разі перебоїв [9].
- Електропостачання важливих об'єктів. Лікарні, школи, системи водопостачання та зв'язку отримують стабільну енергію навіть у кризових ситуаціях.
- Обігрів і освітлення. Використання сонячної енергії або біомаси для опалення та освітлення домогосподарств, особливо в зимовий період [6].
- Зниження витрат. Використання місцевих джерел енергії зменшує витрати на транспортування пального та електрики.
- Нові робочі місця. Розвиток відновлюваної енергетики створює зайнятість у сфері монтажу, обслуговування та експлуатації енергообладнання [13].
- Енергетичні кооперативи. Спільні проекти з відновлюваної енергетики можуть стати джерелом доходу для громад [5].
- Зміцнення громад. Спільна робота над проектами відновлюваної енергетики сприяє згуртуванню місцевих мешканців.
- Покращення якості життя. Стабільне енергопостачання дозволяє підтримувати комфортні умови життя, навіть у складних обставинах.
- Адаптивність. Відновлювані джерела енергії легко масштабуються залежно від потреб громади.
- Зменшення шкідливих викидів. Відновлювана енергетика знижує залежність від викопного палива, що сприяє покращенню екологічного стану територій [16].
- Рекултивация земель. Використання малопродуктивних або деградованих земель для енергетичних культур (наприклад, вирощування енергетичної верби чи міскантусу).

– захист від атак. Децентралізовані системи менш вразливі до цілеспрямованих атак у порівнянні з централізованою інфраструктурою.

Протягом останніх двох років в Україні впроваджено новий ринковий підхід до стимулювання розвитку відновлюваної енергетики. Замість системи фіксованих виплат за «зеленим» тарифом (feed-in tariff) було введено:

– модель ринкової премії (feed-in premium) для виробників, які вже працюють за «зеленим» тарифом;

– модель контрактів на різницю (contract for difference) для проєктів, які отримують підтримку через аукціони в майбутньому [11].

Проте перед галуззю відновлювальної енергетики України стоїть ціла низка складних проблем, які вимагають реалізації комплексу рішень. Зокрема, на найближчу перспективу зусилля уряду, громад і бізнесу мають бути спрямовані на:

– зосередження фінансових, технічних, інтелектуальних ресурсів на реконструкції енергетичної інфраструктури в безпечних регіонах;

– використання модульних і мобільних систем ВДЕ (сонячних панелей, вітрових турбін, біоенергетичних установок) для тимчасового забезпечення енергією зруйнованих територій;

– залучення міжнародних грантів та інвестицій для відновлення і розвитку галузі;

– надання державних гарантій для інвесторів та створення спеціальних фінансових інструментів, таких як «зелені облігації»;

– впровадження програм пільгового кредитування для малого та середнього бізнесу, який впроваджує ВДЕ;

– стимулювання локального виробництва компонентів для ВДЕ (сонячних панелей, акумуляторів, біогазових установок);

– розробку альтернативних логістичних маршрутів, використання європейських портів та транзитних коридорів;

– розвиток гнучких енергосистем (мікромереж, автономних станцій), які можна швидко розгорнути та адаптувати до потреб;

– використання «розумних мереж» для балансування попиту та пропозиції;

– організацію програм навчання та перекваліфікації фахівців у сфері ВДЕ;

– залучення міжнародних експертів для консалтингу та передачі досвіду;

– мотиваційні програми для повернення українських спеціалістів у галузь;

– спрощення дозвільних процедур для будівництва об'єктів ВДЕ;

– адаптацію законодавства до сучасних умов, зокрема інтеграція стандартів ЄС;

– запровадження нових механізмів підтримки ВДЕ, таких як аукціони «зеленої енергії»;

– проведення інформаційних кампаній для підвищення обізнаності про екологічні та економічні вигоди ВДЕ;

– залучення громад до спільних проєктів, наприклад, створення енергетичних кооперативів;

– розвиток децентралізованих енергосистем, включаючи мікромережі та автономні установки;

– використання відновлюваних джерел енергії для резервного живлення критично важливих об'єктів (лікарень, водоканалів, систем зв'язку);

– використання біоенергетики для утилізації органічних відходів і очищення забруднених територій;

– рекультивацію земель за допомогою висадки енергетичних культур (верби, міскантусу);

– залучення ВДЕ як основного джерела енергії для нових житлових і промислових об'єктів.

Воєнний стан завдав серйозного удару по сектору відновлювальної енергетики, проте він також стимулював розвиток інноваційних підходів до енергозабезпечення. Адаптація до нових умов і залучення міжнародної підтримки можуть стати рушієм для післявоєнного відновлення галузі та її переходу на якісно новий рівень.

Висновки. Відновлювана енергетика України, попри значні виклики, викликані війною, залишається стратегічно важливим напрямом розвитку енергетичного сектору. Руйнування інфраструктури, логістичні проблеми, фінансові труднощі та зміни в попиті на енергію ускладнюють реалізацію проєктів, однак відновлювані джерела енергії мають ключову перевагу – гнучкість, автономність та швидкість розгортання.

Розвиток ВДЕ є не лише відповіддю на виклики воєнного часу, а й фундаментом для енергетичної безпеки та сталого відновлення країни. Реалізація потенціалу ВДЕ потребує комплексного підходу, який включає залучення інвестицій, спрощення регуляторних процедур, стимулювання локального виробництва обладнання та підвищення обізнаності громад.

Інтеграція «зеленої» енергетики у процеси відбудови України стане потужним рушієм економічного розвитку, забезпечить незалежність від викопних джерел енергії та сприятиме екологічній модернізації країни.

Список використаних джерел

1. Бабаєв М., Азархіна О., Усенко Ю. Відновлювана енергетика: втрати і рецепти відновлення. *Українська енергетика*. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/vidnovliuvana-enerhetyka-vtraty-i-retsepty-vidnovlennia>.

2. Бевз М., Гардус М. Як спростити Україні шлях до децентралізованої енергетики. *Економічна правда*. URL: <https://pravda.com.ua/columns/2024/11/1/721317/>.

3. Березюк С., Березюк Ю., Медвідь Т. Ефективність використання індивідуальних біогазових установок для переробки відходів домогосподарств. *Економіка та суспільство*. 2024. №59. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-46>.

4. Волокіта В.В. Україні активно створюють ринок децентралізованої генерації для бізнесу. *Економічна правда*. URL: <https://pravda.com.ua/news/2024/08/27/718533/>.

5. Вострякова В. Енергетичні кооперативи як механізм забезпечення сталого енергетичного розвитку громад. *Економіка та суспільство*. 2022. №42. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-66>.

6. Горський В.В. Аналіз та обґрунтування використання відновлювальних джерел енергії для живлення систем освітлення в сільському господарстві: кваліфікаційна робота: спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Поліський нац. ун-т, каф. електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології; наук. кер. Фомін М.П. Житомир, 2024. 41 с.

7. Завербний А.С., Кісь М.Я., Білоус Ю.Б. Проблеми і перспективи залучення зовнішніх інвестицій у проекти відновлювальної енергетики України у воєнний та післявоєнний періоди. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 1. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2460>.

8. Костенко Г., Згуровець О. Сучасний стан та перспективи розвитку відновлюваної розподіленої генерації в Україні. *Системні дослідження в енергетиці*. 2023. 2(73). С. 4–17.

9. Лободзинський В.Ю., Бурик М.П., Петрученко О.В., Ілліна О.О. Вплив системи smart grid на національну енергетичну мережу. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2022. №1. С. 57–64.

10. Омельченко В. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни. *Разумков-центр*. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/sector-vidnovlyuvanoi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>.

11. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 13 серпня 2024 р. № 761-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-p#Text>.

12. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. №605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text>.

13. Романко С. Зелені робочі місця: шанс для України на відновлення та розвиток. *Економічна правда*. URL: <https://epravda.com.ua/columns/2023/10/24/705786/>.

14. Саяпін В.Г. Структура і архітектура системи керування та будови MICROGRID з використанням джерел відновлювальної енергії. *Вісник Криворізького національного університету*. 2020. № 50. С. 138–142.

15. Сікорська О.В., Царенко М.М., Кибалка О.Ю. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні під час війни та повного відновлення. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/37666/131104.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

16. Тимошенко Л.В., Дементьєва Н.В. Еколого-економічне обґрунтування використання відновлювальних джерел енергії на муніципальних об'єктах. *Економічний вісник*. 2016. №3. С. 171–180.

17. Топалов М. Сонце світить та не гріє. Чому держава майже не платить «зелений» тариф домашнім СЕС? *Економічна правда*. 2023. URL: <https://epravda.com.ua/publications/2023/10/6/705162/>.

18. Pecheniuk A., Garasymchuk I., Potapyskiy P., Vusatyi M., Dubik V., Pukas V. Renewable energy of Ukraine in global conditions energy transfer-mations. *Grassroots Journal of Natural Resources*, Vol. 5 #4 (December 2022). URL: <https://grassrootsjournals.org/gjnr/0504m00315.html#status>.

Pecheniuk A. V.

*Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor at the Department of Energy-Saving Technologies
and Energy Management,
Higher educational institution “Podillia State University”
Kamyanets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: anvaspe@meta.ua
ORCID: 0000-0002-8348-5044*

Harasymchuk I. D.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Electrical Engineering, Electromechanics, and Electrical Technologies
Higher educational institution “Podillia State University”
Kamyanets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: igorgarasymchuk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4304-4447*

Pantsir Yu. I.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Electrical Engineering, Electromechanics, and Electrical Technologies,
Higher educational institution “Podillia State University”
Kamyanets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: panziriyuriy@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2969-1936*

PROSPECTS AND CHALLENGES OF RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN UKRAINE UNDER MARTIAL LAW CONDITIONS

Abstract

Renewable energy remains a strategic direction for Ukraine's development, especially under martial law conditions. The war has significantly affected the energy sector, particularly renewable energy sources (RES). Infrastructure destruction, territorial occupation, and economic instability have posed serious challenges to an industry that was showing active growth before the war. Despite these difficulties, developing renewable energy is crucial for reducing dependence on fossil fuels, enhancing energy security, and integrating into the European energy system.

The aim of the study is to analyze the prospects and challenges faced by the RES sector in Ukraine, identify strategic directions for its recovery, and adapt to the new conditions. Key problems include declining investment attractiveness, destruction of facilities, financing difficulties, and delays in payments for the "green" tariff.

Alongside the challenges, the war has created new opportunities, including the development of decentralized energy systems, microgrids, and bioenergy, which promote autonomy and resilience in energy supply. Special attention is given to the role of RES in revitalizing rural communities, supporting critical infrastructure, and integrating modern technologies.

The analysis of prospects demonstrates that, with the support of international partners, improved regulatory frameworks, and investment incentives, renewable energy can become a vital factor in Ukraine's sustainable development.

Key words: renewable energy, renewable energy sources, martial law, energy infrastructure, rural areas, autonomous energy supply.

References

- Babaiev, M., Azarkhina, O., & Usenko, Yu. (2023). Vidnovliuvana enerhetyka: vtraty i retsepty vidnovlennia. [Renewable energy: losses and recovery recipes]. *Ukrainska enerhetyka – Ukrainian energy industry*. Retrieved from: <https://ua-energy.org/uk/posts/vidnovliuvana-enerhetyka-vtraty-i-retsepty-vidnovlennia> [in Ukrainian].
- Bevz, M., & Hardus, M. (2024). Yak sprostyty Ukraini shliakh do detsentralizovanoi enerhetyky [How to simplify Ukraine's path to decentralized energy]. *Ekonomichna Pravda – Economic truth*. Retrieved from: <https://epravda.com.ua/columns/2024/11/1/721317/> [in Ukrainian].
- Bereziuk, S., Bereziuk, Yu., & Medvid, T. (2024). Efektyvnist vykorystannia indyvidualnykh biohazovykh ustanovok dlia pererobky vidkhodiv domohospodarstv [The efficiency of using individual biogas plants for household waste processing]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society*, 59. Retrieved from: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-46> [in Ukrainian].
- Volokita, V.V. (2024) Ukraini aktyvno stvoriliut rynek detsentralizovanoi heneratsii dlia biznesu [Ukraine is actively creating a decentralized generation market for business]. *Ekonomichna Pravda – Economic truth*. Retrieved from: <https://epravda.com.ua/news/2024/08/27/718533/> [in Ukrainian].
- Vostriakova, V. (2022) Enerhetychni kooperatyvy yak mekhanizm zabezpechennia staloho enerhetychnoho rozvytku hromad [Energy cooperatives as a mechanism for ensuring sustainable energy development of communities]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society*, 42. Retrieved from: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-66> [in Ukrainian].
- Horskyi, V.V. (2024) Analiz ta obgruntuvannia vykorystannia vidnovliuvalnykh dzherel enerhii dlia zhyvlennia system osvittennia v silskomu hospodarstvi : kvalifikatsiina robota: spets. 141 «Elektroenerhetyka, elektrotehnika ta elektromekhanika» [Analysis and substantiation of the use of renewable energy sources for powering lighting systems in agriculture: qualification work: spec. 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics"], Zhytomyr. 41 p. [in Ukrainian].
- Zaverbnyi, A.S., Kis, M.Ia., & Bilous, Yu.B. (2023) Problemy i perspektyvy zaluchennia zovnishnykh investytsii u proekty vidnovliuvalnoi enerhetyky Ukrainy u voiennyi ta pislavoiennyi periody [Problems and prospects of attracting external investments in renewable energy projects of Ukraine in the war and post-war periods]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society*, 1. Retrieved from: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2460>. [in Ukrainian].
- Kostenko, H., & Zghurovets, O. (2023) Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku vidnovliuvalnoi rozpodilenoj heneratsii v Ukraini [The current state and prospects for the development of renewable distributed generation in Ukraine]. *Systemni doslidzhennia v enerhetytsi – Systemic research in energy*. 2(73), pp. 4-17. [in Ukrainian].
- Lobodzynskyi, V.Iu., Buryk, M.P., Petruchenko, O.V., & Illina, O.O. (2022) Vplyv systemy smart grid na natsionalnu enerhetychnu merezhu [The impact of the smart grid system on the national energy network]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnologii, ekolohiia – Energy: economy, technologies, ecology*. 1, pp. 57-64. [in Ukrainian].
- Omelchenko, V. (2022) Sektor vidnovliuvalnoi enerhetyky Ukrainy do, pid chas ta pislia viiny [Renewable energy sector of Ukraine before, during and after the war]. *Razumkov-tsentri – Razumkov Center*. Retrieved from: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovliuvalnoi-energetyky-ukrainy-do-pid-chas-ta-pislya-viiny> [in Ukrainian].
- Pro zatverdzhennia Natsionalnoho planu dii z vidnovliuvalnoi enerhetyky na period do 2030 roku ta planu zakhodiv z yoho vykonannia [On the approval of the National Renewable Energy Action Plan for the period up to 2030 and the plan of measures for its implementation]. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 13 serpnia 2024 r. №761-r. – Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 13, 2024 No. 761. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-p#Text> [in Ukrainian].
- Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2035 roku «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist» [On the approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035 "Security, energy efficiency, competitiveness"]. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 18 serpnia 2017 r. №605-r. – Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017 No. 605. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text> [in Ukrainian].
- Romanko, C. (2024). Zeleni robochi mistia: shans dlia Ukrainy na vidnovlennia ta rozvytok [Green jobs: a chance for recovery and development for Ukraine]. *Ekonomichna Pravda – Economic truth*. Retrieved from: <https://epravda.com.ua/columns/2023/10/24/705786/> [in Ukrainian].
- Saiapin, V.H. (2022) Struktura i arkhitektura systemy keruvannia ta budovy MICROGRID z vykorystanniam dzherel vidnovliuvalnoi enerhii [The structure and architecture of the MICROGRID control system and structure using renewable energy sources]. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu – Bulletin of Kryvyi Rih National University*. 50, pp. 138-142 [in Ukrainian].
- Sikorska, O.V., Tsarenko, M.M., & Kybalka, O.Iu. (2022). Perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini pid chas viiny ta povoiennoho vidnovlennia [Prospects for the development of bioenergy in Ukraine during the war and post-war recovery]. Retrieved from: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/37666/131104.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [in Ukrainian].
- Tymoshenko, L.V., & Dementieva, N.V. (2016). Ekoloho-ekonomichne obgruntuvannia vykorystannia vidnovliuvalnykh dzherel enerhii na munitsypalnykh ob'iektakh [Ecological and economic justification of the use of renewable energy sources at municipal facilities]. *Ekonomichnyi visnyk – Economic Herald*. 3, pp. 171-180 [in Ukrainian].
- Topalov, M. (2023). Sontse svityt ta ne hriie. Chomu derzhava maizhe ne platyt «zelenyi» taryf domashnim SES? [The sun shines but does not warm. Why does the state almost not pay the "green" tariff to domestic SPPs?]. *Ekonomichna Pravda – Economic truth*. Retrieved from: <https://epravda.com.ua/publications/2023/10/6/705162/> [in Ukrainian].
- Pecheniuk, A., Garasymchuk, I., Potapskyi, P., Vusatyi, M., Dubik, V., & Pukas, V. (2022). Renewable energy of Ukraine in global conditions energy transformations. *Grassroots Journal of Natural Resources*, Vol. 5 #4 (December 2022). URL: <https://grassrootsjournals.org/gjnr/0504m00315.html#status>.

УДК 379.85:63

Чорнобай Л. М.

кандидат економічних наук,
доцент кафедри менеджменту, публічного управління та адміністрування,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: chornobay431@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5122-1485

Корженівська Н. Л.

доктор економічних наук,
професор кафедри економіки, підприємництва, торгівлі та біржової діяльності,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: nkorzhenivska@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4665-6676

РОЛЬ СІЛЬСЬКОГО ЗЕЛЕНОГО ТУРИЗМУ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КОМПЛЕКСНОГО РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

Анотація

Сільський зелений туризм відіграє ключову роль у формуванні сталого розвитку сільських територій України, інтегруючи економічні, соціальні та екологічні аспекти розвитку регіонів. Його значення полягає у створенні можливостей для диверсифікації економічної діяльності на селі, підвищення якості життя місцевого населення та збереженні довкілля.

Цей вид діяльності є потужним економічним драйвером для всебічного розвитку сільських територій. Однією з основних переваг є зростання доходів місцевих мешканців та залучення додаткових фінансових ресурсів через туристичні потоки. Це підтримка не лише розвитку малого і середнього бізнесу, а й створення нових робочих місць, що є фактором запобігання внутрішньої та зовнішньої міграції сільського населення.

Одним із важливих результатів розвитку сільського зеленого туризму є поліпшення соціальної структури села. Сільський туризм сприяє збереженню і популяризації місцевих традицій і культури, що стимулює відродження народних ремесел, фольклору, кухні. Це стає потужним драйвером для розвитку місцевих культурних ініціатив та підвищення самосвідомості, створює можливості для інтеграції молоді в місцеве господарство. Сільська молодь та молоді фахівці можуть працювати в агротуризмі, тим самим залишаючись у своїх рідних селах і отримуючи достойні заробітки. Завдяки зростанню соціально-економічної активності зменшується соціальна напруга, посилюється соціальна відповідальність, а також збільшується активність місцевих жителів.

Сільський зелений туризм є внутрішнім механізмом забезпечення комплексного розвитку сільських територій. Завдяки своєму потенціалу для стимулювання економічного, соціального та екологічного розвитку він сприяє підвищенню життєвого рівня місцевих жителів, створенню нових робочих місць, збереженню культурної спадщини та покращенню екологічного стану населення в сільських громадах. З огляду на ці переваги, важливим є сприяння розвитку цього виду економічної діяльності на селі, створюючи сприятливі умови для інвестування, навчання та співпраці на усіх рівнях.

Ключові слова: сільські території, сільський зелений туризм, економічний розвиток, соціальний розвиток, екологічний розвиток, якість життя, диверсифікація.

Вступ. Сільський зелений туризм є багатогранним явищем, яке об'єднує економічні, соціальні, екологічні та культурні аспекти. Його розвиток дозволяє сільським громадам адаптуватися до викликів сучасності, підтримуючи сталий розвиток регіонів, підвищуючи добробут місцевого населення та зберігаючи унікальність кожного села та територіальної громади.

Питання формування та розвитку сільського зеленого туризму в світі та Україні достатньо опрацювали вітчизняні науковці, зокрема: П. Горішевський, О. Дудзяк, В. Гловацька, Ю. Зінько, Н. Кудла, М. Лендел, С. Мельниченко, М. Рутинський, Т. Пінчук, І. Прокопа, М. Талавіра, Р. Тринько та інші.

Сільський зелений туризм є багатофункціональним інструментом сталого розвитку сільських територій, який сприяє гармонійному поєднанню економічних, соціальних і екологічних цілей.

Мета дослідження полягає у визначенні сутності сільського зеленого туризму та ідентифікації його впливу на забезпечення комплексного сталого розвитку сільських територій України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Поняття «сільський зелений туризм» уперше в законодавстві застосували в Законі України «Про особисте селянське господарство» [8], що дало правові підстави вести діалог про непідприємницький характер діяльності у сфері сільського зеленого туризму та сприяло її подальшому розвитку саме на базі таких господарств.

Закон України «Про туризм» передбачає, що залежно від категорій осіб, які здійснюють туристичні подорожі (поїздки, відвідування), їх цілей, об'єктів, що використовуються або відвідуються, чи інших ознак існують такі види туризму, зокрема: дитячий; молодіжний; сімейний; для осіб похилого віку; для інвалідів; культурно-пізнавальний; лікувально-оздоровчий; спортивний; релігійний; екологічний (зелений); сільський; підводний; гірський; пригодницький; мисливський; автомобільний; самодіяльний тощо. Окремого закону про сільський чи зелений туризм немає [5].

Відповідно до Закону України «Про туризм», представницькі органи місцевого самоврядування – сільські, селищні, міські ради відповідно до їх повноважень:

- затверджують місцеві програми розвитку туризму;
- визначають кошти місцевих бюджетів для фінансового забезпечення місцевих програм розвитку туризму;
- доручають своїм виконавчим органам фінансування місцевих програм розвитку туризму за рахунок коштів місцевого бюджету;
- вживають заходів для стимулювання суб'єктів господарювання, які здійснюють діяльність з надання туристичних послуг [9].

Сільський зелений туризм сьогодні в Україні розглядається як форма відпочинку міського населення та як форма діяльності селян, що надають відпочиваючим житло та харчування. З метою забезпечення розвитку сільського туризму в Україні були прийняті закони та підзаконні нормативно-правові акти, в яких закріплені передусім загальні правові засади та організаційно-правові заходи щодо надання туристичних послуг і здійснення туристичної діяльності, а також державної підтримки сільського туризму [2].

Суб'єктами сільського зеленого туризму є:

- господарі сільських садиб, які пройшли категоризацію та надають можливості проживання та супутні послуги туристам, розміщуючи інформації про свої послуги в спеціалізованих виданнях та каталогах;
- туристи, що проживають і отримують туристичні послуги на території села, задовольняючи свої потреби у відпочинку, покращенні свого фізичного стану, враженнях та інше, що вступили в економічні відносини з господарями сільських садиб та іншими суб'єктами туристичної діяльності;
- фізичні та юридичні особи, що надають господарям агросадиб чи туристам допоміжні послуги (посередницькі, транспортні, рекламні, інформаційні тощо);
- територіальні громади, діяльність яких спрямована на забезпечення необхідних умов діяльності сільського зеленого туризму.

При розгляді туристичної привабливості будь-якої території та її оцінки важливим є розгляд туристичних потоків, наявних на території, що підлягає туристичні оцінці [3].

Сільський зелений туризм є інструментом сталого розвитку сільських територій, який об'єднує економічні, екологічні та соціальні аспекти. Це форма відпочинку, що базується на використанні природного, культурного та історичного потенціалу села, забезпечуючи в комплексі гармонійний розвиток регіонів.

У багатьох країнах світу сільський зелений туризм є невід'ємною складовою комплексного розвитку сільських територій. Це зумовлено його поліфункціональним значенням для економічного розвитку сільських поселень. Сільський зелений туризм є вагомим чинником зниження безробіття, створення умов для реалізації потенціалу підприємництва та самозайнятості сільського населення, підвищення дохідності місцевих бюджетів, стимулювання розбудови соціальної інфраструктури.

Сільський зелений туризм розширює сферу зайнятості сільського населення і дає селянам додатковий зарібок, розширюючи можливості зайнятості не тільки у виробничій сфері, але й у сфері обслуговування. Досвід також показує, що малі підприємства, зайняті у сфері сільського зеленого туризму, з метою максимального задоволення потреб відпочиваючих диференціюють свою основну діяльність: удосконалюють структуру посівів на городах, розширюють плодоовочевий сегмент, годують домашніх тварин, заводять тепличне господарство, займаються мисливством, бджільництвом, рибальством, травництвом, квітникарством. До соціальних та економічних переваг і результатів функціонування малих підприємств сільського зеленого туризму можна віднести і те, що його розвиток спонукає до покращення благоустрою сільських осель, вулиць, сільських поселень і територій та стимулює розвиток соціальної інфраструктури [10, с. 29].

Головною перевагою цього виду туризму є екологічність, автентичність і можливість відчутти ритм життя сільської громади. Це вид діяльності, спрямований на організацію дозвілля в сільській місцевості, що пропонується в сільських садибах, знайомство з традиційною культурою та звичаями, місцевою кухнею та участь у сільськогосподарських роботах.

Сільський зелений туризм виконує декілька важливих функцій:

1. Економічна функція – сприяння розвитку малого підприємництва, створення нових робочих місць, зростання доходів місцевих жителів.
2. Соціальна функція – підтримка місцевих традицій, зменшення соціальної напруги шляхом залучення громади до активного економічного життя.
3. Екологічна функція – стимулює збереження природного середовища та екологічної рівноваги через раціональне використання ресурсів.



Рис. 1. Вплив сільського зеленого туризму на забезпечення комплексного розвитку сільських територій

Сільський зелений туризм є каталізатором комплексного розвитку сільських територій. Він забезпечує:

- Розвиток інфраструктури (*поліпшення транспортного сполучення, реконструкція житлового фонду, модернізація місць громадського використання*).
- Підвищення інвестиційної привабливості (*за рахунок зростання попиту на туристичні послуги*).
- Диверсифікацію економічної діяльності (*залучення населення до надання туристичних послуг поряд із веденням традиційного сільського господарства*).

В Україні сільський зелений туризм має значний потенціал за рахунок великого потенціалу місцевих природних ресурсів й значного різноманіття культурного спадку. Найбільш розвинені напрями включають Карпатський регіон, Поділля, Полісся та Херсонщину. Водночас галузь розвивається з низькою проблемою: недостатньо розвинена інфраструктура, брак кваліфікованих кадрів, недостатня державна підтримка.

Рекомендації для громад щодо необхідних кроків для досягнення успіху в сільському туризмі [5, с. 115]:

- туризм на сільських територіях успішно розвиватиметься тоді, коли його пропозиції будуть детально визначені, а організації, які об'єднують осіб, що бажають займатися туристичною діяльністю, будуть послуговуватись однаковими стандартами, зрозумілими пересічному споживачеві;
- для забезпечення сільському туризму відповідного місця на ринку туристичних послуг важливим є не лише комплексне представлення пропозиції (як продукту), але й добре знання споживача;
- очікуваного економічного ефекту легше досягнути завдяки чіткій ідентифікації туристичного продукту (ідентифікація має бути доступною для споживача (туристичні сайти, соцмережі тощо), належним чином візуалізована (фотографії, відеоролики) і надана для ознайомлення потенціальним туристам);
- організація комерційної мережі продажу туристичного продукту з метою рекламування туристичної пропозиції села;
- обмін досвідом для подальшого розвитку сільських територій, підвищення якісного рівня туристичного продукту.

Сільський зелений туризм має значний потенціал розвитку для України. Світові показники економічного форуму свідчать про те що, Україна 31 використовує меншу третину від свого наявного туристичного та рекреаційного потенціалу. Експертні оцінки показали, що при повноцінному розкритті українського туристичного потенціалу надходження до бюджетів усіх рівнів можуть становити до 10 млрд. дол. США на рік, скільки отримують країни, співвимірні з Україною за туристично-рекреаційним потенціалом і в цьому значну роль може відігравати сфера сільського зеленого туризму [7].

Перспективи розвитку сільського туризму в Україні пов'язані із впровадженням програм підтримки галузі як на державному, так і на регіональному рівні, популяризацією цього виду економічної активності серед вітчизняних і зарубіжних туристів, а також активізацією місцевих громад у створенні конкурентоспроможних туристичних продуктів.

Висновки. Сільський зелений туризм є ефективним засобом забезпечення комплексного сталого розвитку сільських територій України. Його популяризація сприятиме зростанню добробуту місцевого сільського населення, покращенню екологічної ситуації, збереженню та поширенню культурної спадщини та місцевих традицій. При цьому для досягнення максимального ефекту необхідна інтеграція зусиль держави, громади та приватного сектору.

Список використаних джерел

1. Борщевський В.В. Розвиток сільських територій в системі євроінтеграційних пріоритетів України: [монографія] / НАН України. Ін-т регіональних досліджень. Львів, 2012. 216 с.
2. Гловацька В.В. Сільський зелений туризм: сутність, функції, основи організації. Економіка АПК. 2006. № 10. С. 148–155.
3. Дудзяк О.А. Вплив сільського туризму на розвиток сільських територій. *Науковий вісник Ужгородського університету: серія «Економіка»*; збірник наукових праць. Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2016. Вип. 2 (48). С. 133–136.
4. Іванишин В.В., Дудзяк О.А. Застосування в Україні досвіду розвитку сільських територій Європейських країн та США. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2015. Вип. 24. Т. 3. С. 5–10.
5. Корінець Р. Сільський розвиток: посібник для фахівців з аграрного та сільського розвитку територіальних громад. Київ, 2023. 157 с.
6. Куцмус Н.М. Європейський досвід вирішення проблем сільського розвитку. Соціально-економічні проблеми розвитку сільських територій: регіональний аспект: кол. монографія / [В.І. Ткачук, А.О. Соколова, О.В. Голій та ін.], за ред. В.І. Ткачука. Ж.: Видавництво ПП «Рута», 2014. С. 263–278.
7. Матвійчук Л. Ю. Тищук І.В. Регіональні особливості поширення зеленого туризму в Україні. *Економічні науки. Серія «Регіональна економіка»*. 2014. № 11. С. 149–158.
8. Про особисте селянське господарство. Закон України від 15 травня 2003 року № 742-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/742-15#Text>
9. Про туризм. Закон України від 15 вересня 1995 року № 324/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/324/95-%D0%B2%D1%80/print>
10. Сарахман Л. Розвиток сільського туризму в Білорусії, Молдові, Румунії, Естонії, Литві, Латвії та Польщі. *Туризм сільський зелений*. 2013. № 2 (липень-грудень). С. 28–30.

Chornobay L. M.

*Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor at the Department of Management and Public Administration,
Higher educational institution “Podillia State University”
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: chornobay431@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5122-1485*

Korzhenivska N. L.

*Doctor of Economic Sciences,
Professor at the Department of Economics, Business, Trade and Exchange Activities,
Higher educational institution “Podillia State University”
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: nkorzhenivska@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4665-6676*

THE ROLE OF RURAL GREEN TOURISM IN ENSURING THE COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF RURAL AREAS

Abstract

Rural green tourism plays a key role in shaping the sustainable development of rural areas of Ukraine, integrating economic, social and environmental aspects of regional development. Its significance lies in creating opportunities for diversification of economic activity in the countryside, improving the quality of life of the local population and preserving the environment.

This type of activity is a powerful economic driver for the comprehensive development of rural areas. One of the main advantages is the growth of incomes of local residents and attracting additional financial resources through tourism flows. This supports not only the development of small and medium-sized businesses, but also the creation of new jobs, which is a factor in preventing internal and external migration of the rural population.

One of the important results of the development of rural green tourism is the improvement of the social structure of the village. Rural tourism contributes to the preservation and popularization of local traditions and culture, which stimulates the revival of folk crafts, folklore, cuisine. This becomes a powerful driver for the development of local cultural initiatives and increasing self-awareness, creates opportunities for the integration of young people into the local economy. Rural youth and young professionals can work in agritourism, thereby remaining in their native villages and receiving decent earnings. Due to the growth of socio-economic activity, social tension decreases, social responsibility increases, and the activity of local residents increases.

Rural green tourism is an internal mechanism for ensuring the comprehensive development of rural areas. Due to its potential to stimulate economic, social and environmental development, it contributes to raising the standard of living of local residents, creating new jobs, preserving cultural heritage and improving the environmental condition of the population in rural communities. Given these advantages, it is important to promote the development of this type of economic activity in the countryside, creating favorable conditions for investment, training and cooperation at all levels.

Key words: *rural areas, rural green tourism, economic development, social development, environmental development, quality of life, diversification.*

References

1. Borshchevsky, V.V. (2012). Rozvytok silskykh terytorii v systemi yevrointehratsiinykh prioritytetiv Ukrainy [Development of rural areas in the system of European integration priorities of Ukraine]: *monohrafiia / NAN Ukrainy. In-t rehionalnykh doslidzhen. Lviv, 216 p.* [in Ukrainian].
2. Hlowatska, V.V. (2006). Silskyi zelenyi turizm: sutnist, funktsii, osnovy orhanizatsii [Rural green tourism: essence, functions, foundations of organization]. *Ekonomika APK*, 10, 148–155 [in Ukrainian].
3. Dudziak, O.A. (2016). Vplyv silskoho turizmu na rozvytok silskykh terytorii [The impact of rural tourism on the development of rural areas]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu: seriia «Ekonomika»*, 2 (48), 133–136 [in Ukrainian].
4. Ivanyshyn, V.V., & Dudziak, O.A. (2015). Zastosuvannia v Ukraini dosvidu rozvytku silskykh terytorii Yevropeiskykh krain ta SShA [Application in Ukraine of the experience of developing rural areas of European countries and the USA]. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnoho aharno-tekhnichnoho universytetu*, 24, 3, 5–10 [in Ukrainian].
5. Korinets, R. (2023). Silskyi rozvytok: posibnyk dlia fakhivtsiv z aharnoho ta silskoho rozvytku terytorialnykh hromad [Rural development: a guide for specialists in agrarian and rural development of territorial communities]. Kyiv, 157 p. [in Ukrainian].
6. Kutsmus, N.M., Tkachuk, V.I., Sokolova, A.O., et al. (2014). Yevropeyskyi dosvid vyrishennia problem silskoho rozvytku [European experience in solving rural development problems]. *Sotsialno-ekonomichni problemy rozvytku silskykh terytorii: rehionalnyi aspekt: kol. monohrafiia (pp. 263-278)*. Zhytomyr: Vydavnytstvo PP «Ruta» [in Ukrainian].
7. Matviychuk, L.Yu., & Tyshchuk, I.V. (2014). Rehionalni osoblyvosti poshyrennia zelenoho turizmu v Ukraini [Regional features of the spread of green tourism in Ukraine]. *Ekonomichni nauky. Seriia «Rehionalna ekonomika»*, 11, 149–158 [in Ukrainian].
8. Pro osobyste selianske hospodarstvo. Zakon Ukrainy vid 15 travnia 2003 roku № 742-IV [Law of Ukraine On Personal Farming No. 742-IV]. (2003, May 15). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/742-15#Text> [in Ukrainian].
9. Pro turizm. Zakon Ukrainy vid 15 veresnia 1995 roku № 324/95-VR [Law of Ukraine on Tourism No. 324/95-VR]. (1995, September 15). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/324/95-%D0%B2%D1%80/print> [in Ukrainian].
10. Sarahman, L. (2013). Rozvytok silskoho turizmu v Bilorusii, Moldovi, Rumunii, Estonii, Lytvi, Latvii ta Polshchi [Development of rural tourism in Belarus, Moldova, Romania, Estonia, Lithuania, Latvia and Poland]. *Turizm silskyi zelenyi*, 2, 28–30 [in Ukrainian].



ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 631.3:004.8

Осіпов М. Ю.

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри садово-паркового господарства,
Уманський національний університет садівництва
Умань, Україна

E-mail: m3dsad@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7004-1164

Рудь А. В.

доктор філософії в галузі технічних наук, професор,
завідувач кафедри агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID: 0000-0002-7206-7103

Ляшко Ю.-Й. Б.

магістр, аспірант кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. проф. М. К. Шикולי,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна

E-mail: YuraLyashko.ua@gmail.com
ORCID: 0009-0009-2226-4756

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ АГРОНОМІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ РОБОТОТЕХНІКИ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Анотація

Інтеграція робототехніки та штучного інтелекту в сільське господарство є трансформаційним кроком в керуванні агрономічними процесами, що відкриває потенціал для підвищення продуктивності, стійкості та точності. Актуальність цього напрямку зумовлена збільшуваним світовим попитом на продовольство, необхідністю ефективнішого використання ресурсів та екологічними проблемами, з якими стикаються традиційні методи ведення сільського господарства. Останні часто призводять до неоптимального використання ресурсів, високих трудовитрат і неефективної врожайності, що робить впровадження передових технологій, таких як робототехніка та штучний інтелект, критично важливим для розв'язання цих проблем.

Метою дослідження є вивчення інноваційних рішень в керуванні агрономічними процесами шляхом інтеграції робототехніки та штучного інтелекту з акцентом на їхню роль в оптимізації виробництва сільськогосподарських культур, зменшенні відходів та підвищенні точності сільськогосподарських практик.

Результати застосування робототехніки та штучного інтелекту в сільському господарстві свідчать про перспективність такого підходу. Автономні роботи, оснащені датчиками та алгоритмами штучного інтелекту, можуть моніторити стан ґрунту, виявляти шкідників та оцінювати стан рослин у режимі реального часу, що дає змогу здійснювати цілеспрямоване регулювання. Системи на основі штучного інтелекту, використовуючи машинне навчання та предиктивну аналітику, можуть оптимізувати графіки зрошення, використання добрив та стратегії боротьби зі шкідниками, що приводить до ефективнішого використання ресурсів та підвищення врожайності культур. Безпілотні літальні апарати й роботи на базі штучного інтелекту показали здатність виконувати завдання швидше і з більшою точністю, ніж традиційні методи, що сприяє зниженню витрат і підвищенню продуктивності.

Таким чином, інноваційне використання робототехніки та штучного інтелекту в керуванні агрономічними процесами змінює сільське господарство. Такі технології не лише підвищують ефективність сільськогосподарських операцій, але й відкривають шлях до сталого ведення сільського господарства, зменшуючи споживання ресурсів та мінімізуючи вплив на довкілля.

Ключові слова: цифрові агротехнології, автоматизація сільськогосподарських процесів, штучний інтелект у землеробстві, підвищення врожайності, роботизовані системи.

Вступ. Сільське господарство досягло значного розвитку як на глобальному рівні, так і в Україні. У межах нашої країни наявні достатні ресурси для сталого розвитку аграрного сектору, однак показники рентабельності залишаються невисокими. Це зумовлено, зокрема, недостатнім впровадженням інноваційних технологій у виробничі процеси, що стримує підвищення ефективності та конкурентоспроможності галузі [1–15].

Керування сільськогосподарськими процесами зазвичай ґрунтується на ручній праці, традиційній техніці та стандартних практиках. Проте стрімкий розвиток робототехніки та штучного інтелекту (далі – ШІ) починає кардинально змінювати сільське господарство, відкриваючи можливості для ефективнішого, точнішого та стійкішого ведення сільського господарства. Інноваційні технології мають потенціал трансформувати виконання таких завдань, як посадка, збирання врожаю, боротьба зі шкідниками, зрошення та моніторинг посівів. Завдяки інтеграції ШІ та робототехніки сільськогосподарські системи можуть стати більш пристосованими до змінних умов, підвищити продуктивність та зменшити потребу в людській праці, одночасно розв'язуючи проблеми, пов'язані зі зміною клімату, дефіцитом ресурсів та посилюваним світовим попитом на продовольство [3]. Інтеграція цих технологій у сільськогосподарську практику нині стикається зі значними проблемами, пов'язаними з вартістю, технічною інфраструктурою та необхідністю спеціальних знань для експлуатації та обслуговування сучасних систем.

Актуальність цієї теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності й стійкості сільського господарства в умовах сучасних викликів. За прогнозами, до 2050 року населення планети перевищить 9 мільярдів, тому забезпечення продовольчої безпеки та раціональне використання сільськогосподарських ресурсів стануть надзвичайно важливими. Штучний інтелект і робототехніка можуть оптимізувати процеси прийняття рішень, дозволяючи точніше прогнозувати врожайність, зміни погодних умов і появу шкідників, тим самим мінімізуючи кількість відходів і максимізуючи обсяги виробництва. Ці технології також можуть допомогти зменшити вплив сільського господарства на довкілля завдяки точному землеробству, яке пристосовує сільськогосподарські практики до конкретних польових умов. Застосування ШІ та робототехніки в сільському господарстві все ще перебуває на початковій стадії, але їхня інтеграція може відіграти важливу роль у розв'язанні проблеми глобальної продовольчої безпеки та підвищенні ефективності сільського господарства [8].

Інтеграція ШІ та робототехніки в управління сільським господарством прискорила перехід до сталих, керованих даними процесів, які часто називають «Сільське господарство 5.0» [2; 4]. Цей новий етап використовує автономні роботизовані системи, машинне навчання та Інтернет речей (ІоТ) для підвищення продуктивності та прийняття рішень з одночасним забезпеченням сталого розвитку [5].

Вибрана проблематика дослідження останнім часом перебуває у фокусі наукової уваги відомих українських учених. Так, А. Рудь, С. Грушецький, М. Корчак, С. Замоцький [12], О. Головня та Ю. Чемерис [7] з'ясували, як застосування робототехніки на основі штучного інтелекту сприяє розв'язанню актуальних проблем сільського господарства, зокрема щодо боротьби зі шкідниками та підвищення ресурсоефективності. Науковці зазначають, що ці технології використовують датчики та вдосконалені алгоритми для збору даних у режимі реального часу, що оптимізує такі завдання, як аналіз ґрунту, внесення пестицидів та прогнозування врожайності.

С. Бурлака, Р. Кириченко [3] вивчали, як машинний інтелект і робототехніка можуть автоматизувати збирання врожаю та моніторинг сільськогосподарських культур. Дослідження вчених демонструє, що обладнані камерами й штучним інтелектом роботи можуть визначати стан і розвиток культур з більшою точністю, ніж вручну, зменшуючи залежність від робочої сили та скорочуючи втрати.

О. Гарафонова, В. Маргасова [5] зосереджуються на вивченні роботизованої боротьби з бур'янами. У статті науковиць продемонстровано ефективність автономних транспортних засобів у виявленні та вибіркового видаленні бур'янів, що підвищує врожайність сільськогосподарських культур і мінімізує використання гербіцидів.

Зазначені методи є частиною ширших галузевих заходів, спрямованих на зменшення впливу на довкілля та сприяння сталому розвитку за допомогою автоматизації. Наприклад, моделі прогнозування на основі ШІ допомагають керувати ресурсами, оцінюючи погодні умови, стан рослин і ґрунту, що сприяє більш раціональному плануванню зрошення та посівів [7]. Для вдосконалення цих моделей науковці здійснюють міжгалузеву співпрацю, спрямовану на створення стійкої та ефективної сільськогосподарської екосистеми, що принесе користь як виробникам, так і споживачам.

Мета роботи. Метою цього дослідження є визначення ролі інноваційних рішень у керуванні агрономічними процесами шляхом інтеграції робототехніки та штучного інтелекту з акцентом на їхній внесок в оптимізацію виробництва сільськогосподарських культур, зменшення кількості відходів та підвищення точності сільськогосподарських практик.

Відповідно до мети були сформульовані такі завдання: проаналізувати сучасні робототехнічні технології та технології штучного інтелекту, що застосовуються в агрономії; оцінити їхній вплив на оптимізацію врожайності

та зменшення кількості відходів; визначити досягнення в галузі точного землеробства на основі штучного інтелекту та потенціал цих технологій для підвищення ефективності й точності сільськогосподарських практик.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сільськогосподарському секторі відбувається швидкий технологічний прогрес, зокрема в галузі робототехніки, який трансформує традиційні агрономічні практики. Робототехніка в сільському господарстві відкриває нові можливості для підвищення продуктивності, оптимізації використання ресурсів та підвищення загальної ефективності агрономічних процесів.

Роботизовані системи були розроблені для виконання різноманітних завдань, які раніше вимагали використання ручної праці. У польових роботах трактори, оснащені роботизованими системами, можуть автоматизувати такі роботи, як виорювання, садіння, внесення добрив та збирання врожаю. Такі трактори часто оснащені GPS і датчиками, які забезпечують точну навігацію й виконання завдань, зводячи до мінімуму участь людини. Роботизовані трактори зменшують попит на фізичну працю та сприяють зростанню точності під час посадки та вирощування, що підвищує врожайність культур. У сільському господарстві безпілотники набувають усе більшого поширення, відіграючи важливу роль у моніторингу посівів, застосуванні пестицидів і навіть висаджуванні насіння у віддалених районах. Безпілотники, оснащені мультиспектральними та тепловізійними камерами, можуть оцінювати стан посівів, аналізуючи вегетаційні індекси, допомагаючи фермерам ухвалювати обґрунтовані рішення щодо необхідності їх обробки. Комбайни теж оснащуються роботизованими системами, які можуть автономно збирати та обробляти врожай, полегшуючи трудомісткі завдання та дозволяючи ефективніше складати календарні плани збирання врожаю.

Впровадження автоматизованих систем моніторингу ще більше розширило можливості сільськогосподарської робототехніки. Системи моніторингу ґрунту, наприклад, використовують датчики, які вимірюють такі параметри, як вологість, рН та рівень поживних речовин, у режимі реального часу. Такі дані можна використовувати для регулювання графіків зрошення та внесення добрив відповідно до потреб ґрунту, оптимізуючи використання ресурсів. Системи моніторингу погоди також відіграють важливу роль, оскільки вони надають необхідну інформацію щодо температури, вологості й кількості опадів, допомагаючи фермерам передбачити й пом'якшити ризики, пов'язані з кліматичними коливаннями. Системи моніторингу рослин є не менш значущими: вони використовують камери та сенсорні технології для визначення стадій росту рослин, виявлення хвороб та оцінювання якості врожаю. Такі системи часто працюють у тандемі з роботизованими платформами, що дає змогу точно вносити такі ресурси, як вода, добрива та пестициди, на основі даних, отриманих у режимі реального часу [16; 12].

Можливості алгоритмів штучного інтелекту все більше використовуються в сільському господарстві для покращення аналізу даних та процесів ухвалення рішень. Алгоритми машинного навчання здатні обробляти великі обсяги даних з різних датчиків і прогнозувати закономірності, пропонуючи ідеї, які дають змогу ухвалювати проактивні рішення. Наприклад, алгоритми ШІ можуть прогнозувати зараження шкідниками на основі історичних даних і кліматичних умов, що дає можливість вчасно вжити заходів. Схожим чином ШІ може аналізувати дані про стан ґрунту й рослин для того, щоб запропонувати оптимальні графіки посадки й внесення добрив, що забезпечує вирощування сільськогосподарських культур за найсприятливіших умов. Використання моделей глибинного навчання є особливо ефективним під час аналізу зображень з дронів або стаціонарних камер для виявлення хвороб рослин, нестачі поживних речовин або забур'яненості полів. Такі алгоритми здатні ідентифікувати слабкі візуальні ознаки, які може не помітити людина, що дає змогу вчасно вжити заходів і зменшити втрати врожаю.

Інтеграція робототехніки та ШІ в сільському господарстві зумовлює численні переваги, але водночас створює низку викликів [11]. Високі первинні інвестиційні витрати та потреба в спеціальних знаннях для експлуатації та обслуговування цих технологій є основними бар'єрами на шляху до їх впровадження. До того ж складність сільськогосподарського виробництва, що характеризується різними типами рельєфу, погодних умов і сільськогосподарських культур, вимагає гнучких і адаптивних робототехнічних систем. Досягнення в галузі машинного навчання та адаптивних алгоритмів керування допомагають розв'язати ці проблеми, оскільки вони дають змогу робототехнічним системам навчатися на основі даних про умови, у яких вони перебувають, і вносити корективи в режимі реального часу. Розвиток хмарних платформ також сприяє інтеграції даних та дистанційному моніторингу, що дає змогу аграріям контролювати операції на відстані та ухвалювати рішення на підставі даних [12].

У табл. 1 наведено огляд основних роботизованих систем, що використовуються в агрономічних процесах, типів упроваджених систем моніторингу та алгоритмів ШІ, що застосовуються для різних цілей у сучасному сільському господарстві.

Зазначимо, що робототехніка та ШІ сприяють точному, ефективному та сталому керуванню агрономічними процесами, тим самим трансформуючи традиційне сільське господарство. Економічні переваги зумовлені здатністю робототехніки та систем зі штучним інтелектом зменшувати потребу в робочій силі та оптимізувати використання ресурсів. Роботизовані системи, такі як автономні трактори, дрони та комбайни, можуть виконувати повторювані завдання, як-от посадка, обприскування та збирання врожаю, з мінімальним втручанням людського фактора. Така механізація зменшує витрати на робочу силу та підвищує ефективність виконання завдань, що приводить до більшої прибутковості. Наприклад, дрони використовуються для моніторингу за станом посівів, потреб в зрошенні та зараження шкідниками в режимі реального часу, що дає змогу здійснювати цілеспрямоване регулювання та зменшує нераціональне використання води, добрив і пестицидів. Точність робототехніки дає

змогу виконувати більш точний посів і збір врожаю, мінімізуючи втрати останнього й підвищуючи його якість, що, зрештою, збільшує прибуток фермерських господарств. Аналіз даних на основі штучного інтелекту збільшує економічні вигоди, оскільки дає змогу прогнозувати результати й оптимізувати розподіл ресурсів, тим самим максимізуючи рентабельність інвестицій.

З точки зору екології робототехніка та штучний інтелект у сільському господарстві мають трансформаційні можливості, сприяючи впровадженню більш ефективних та сталих практик. Автономна техніка зменшує споживання пального, порівняно з традиційною технікою, оскільки вона зазвичай використовує електричні або гібридні джерела енергії, що призводить до зниження викидів парникових газів. Робототехніка покращує точне землеробство, даючи змогу мінімально вносити хімікати й добрива лише там, де вони потрібні, що зменшує деградацію ґрунтів і мінімізує забруднення води від стоків. Алгоритми штучного інтелекту сприяють оптимізації сівозміни та методів керування ґрунтами, що покращує їхній стан і біорізноманіття в довготривалій перспективі. Дрони також забезпечують неінтрузивний моніторинг посівів, що дає змогу фермерам оцінювати стан посівів, не завдаючи шкоди екосистемі. Інтеграція цих новітніх технологій робить сільське господарство менш агресивним і більш збалансованим щодо природного середовища [15].

У табл. 2 наведено основні технології робототехніки та ШІ, що застосовуються в агрономічних процесах, їхні ключові економічні та екологічні переваги, перспективи розвитку, а також рекомендації щодо впровадження для отримання максимальної вигоди.

Таблиця 1. Характеристика роботизованих систем, що використовуються в агрономії

Роботизована система	Польове застосування	Система моніторингу	Призначення алгоритму штучного інтелекту
Трактори-роботи	Оранка, сівба, внесення добрив	Моніторинг ґрунту	Прогнозування рівня вологості та поживних речовин у ґрунті
Дрони	Моніторинг посівів, внесення пестицидів	Моніторинг погоди	Аналіз стану посівів, прогнозування зараження шкідниками
Роботизовані комбайни	Автономне збирання врожаю	Моніторинг рослин	Виявлення хвороб, оцінювання врожайності
Датчики ґрунту	Моніторинг стану ґрунту в режимі реального часу	Інтеграція з тракторами та дронами	Рекомендації для точного землеробства
Метеостанції	Відстеження погодних умов	Інтеграція з автономними системами	Аналіз впливу клімату на здоров'я рослин
Системи візуалізації рослин	Моніторинг росту та хвороб	Використовуються з дронами та наземними транспортними засобами	Візуальна ідентифікація хвороб

Джерело: складено авторами за джерелами [12–16]

Таблиця 2. Економічні та екологічні переваги використання штучного інтелекту та робототехніки в агрономії

Технологія	Економічні переваги	Екологічні переваги	Перспективи подальшого розвитку	Рекомендації щодо впровадження
Автономні трактори	Зменшує витрати на робочу силу й підвищує операційну ефективність	Знижує споживання пального й шкідливі викиди	Покращена адаптація до рельєфу та погодних умов	Для вибору відповідної моделі трактора необхідно врахувати розмір поля та рельєф місцевості
Дрони	Оптимізує боротьбу зі шкідниками, зрошення та моніторинг посівів	Мінімізує використання хімікатів і запобігає порушенню екосистеми	Покращена візуалізація для виявлення хвороб та відстеження стану рослин	Навчання операторів та вибіркоче використання дронів відповідно до потреб культури
Роботизовані комбайни	Підвищує ефективність збирання та зменшує втрати врожаю	Сприяє ефективному використанню ресурсів під час збирання врожаю	Розробка багатофункціональних комбайнів	Вибір моделей комбайнів відповідно до типу культури та польових умов
Системи моніторингу ґрунту та погодних умов	Оптимізує використання ресурсів та підвищує продуктивність	Зменшує вимивання поживних речовин і покращує стан ґрунту	Інтеграція зі штучним інтелектом для прогнозного аналізу впливу	Регулярна перевірка датчиків та інтеграція даних
Аналіз даних за допомогою ШІ	Покращує прийняття рішень і максимізує розподіл ресурсів	Підтримує сталу сівозміну та стан ґрунту	Вдосконалені моделі для точного керування врожаєм та боротьби зі шкідниками	Використання хмарних платформ з потужними заходами безпеки даних

Джерело: складено авторами за джерелами [14–16]

Подальші можливості робототехніки та штучного інтелекту в агрономії є перспективними. Інновації в галузі штучного інтелекту, машинного навчання та робототехніки приводять до створення розумних, більш адаптивних технологій, здатних працювати в складних і мінливих сільськогосподарських умовах. Сучасні сенсорні технології та розширення використання Інтернету речей (IoT) у сільському господарстві дають змогу безперешкодно збирати та аналізувати дані, забезпечуючи цілісну картину стану фермерських господарств. Штучний інтелект також використовується для розроблення систем підтримки прийняття рішень, які допомагають фермерам ухвалювати обґрунтовані рішення, що засновані на даних. Інтеграція моделей глибокого навчання в інструменти моніторингу врожаю може сприяти ранньому запобіганню хворобам, оптимізувати графіки зрошення на основі погодних умов і прогнозувати результати врожайності з високою точністю. Ці досягнення дають змогу зробити сільське господарство більш стійким до змін клімату завдяки точним і адаптивним методам його ведення. Робототехніка також розвивається з точки зору точності та функціональності: розробляються роботи, здатні обробляти чутливі культури, виконувати складні завдання щодо прополювання та працювати за різних погодних умов. З часом розробка багатофункціональних роботизованих платформ, які можуть автономно виконувати безліч завдань, ймовірно, знизить витрати й підвищить операційну гнучкість для фермерів.

Для ефективного впровадження технологій вбачається за доцільне навести низку практичних рекомендацій, які допоможуть фермерам і сільськогосподарським підприємствам застосовувати робототехніку та штучний інтелект. Насамперед важливо оцінити конкретні потреби та умови господарства, такі як типи культур, площу поля та фактори довкілля, щоб вибрати відповідні роботизовані рішення. У регіонах зі значними за площею полями оптимальними можуть бути автономні трактори або комбайни, тоді як менші фермерські господарства можуть отримати більше користі від рішень на основі дронів для моніторингу та боротьби зі шкідниками. Для того щоб гарантувати, що працівники фермерських господарств зможуть ефективно керувати цими технологіями та обслуговувати їх, необхідно забезпечити навчання та технічну підтримку персоналу. Партнерство з постачальниками технологій та сільськогосподарськими експертами може полегшити цей перехід, забезпечивши фермерам доступ до необхідних навичок і знань.

Безпека даних і конфіденційність є ще одним фактором, який варто враховувати під час впровадження робототехніки та штучного інтелекту. Оскільки ці системи сильно залежать від збору даних та їхньої обробки в хмарних обчисленнях, для захисту конфіденційної інформації необхідно розробити безпечні протоколи керування даними. Фермерам також необхідно скористатися державними або приватними програмами підтримки, які можуть запропонувати фінансову допомогу у впровадженні сталих сільськогосподарських технологій. Співпраця з науково-дослідними установами теж може бути корисною, оскільки допоможе забезпечити доступ до новітніх розробок і сприятиме створенню середовища для обміну знаннями у сфері використання робототехніки та штучного інтелекту в сільському господарстві. Крім того, регулярний моніторинг і оцінка ефективності впроваджених систем є важливими для забезпечення очікуваних економічних і екологічних переваг, що дає змогу вчасно вносити корективи в разі потреби.

Висновки. Робототехніка та штучний інтелект фундаментально змінюють агрономічні процеси, забезпечуючи більш ефективні, точні та сталі сільськогосподарські практики. Інтеграція роботизованих систем, таких як трактори, дрони та комбайни, у поєднанні з автоматизованим моніторингом ґрунту, погоди та рослин дає змогу ефективніше керувати сільськогосподарськими ресурсами. Алгоритми штучного інтелекту розширюють можливості цих систем, забезпечуючи прогнозування, оптимізуючи процес прийняття рішень та забезпечуючи можливість вчасного реагування в разі виникнення хвороб або зараження шкідниками. Попри виклики, постійні інновації та розробки в цій галузі гарантують задоволення специфічних потреб сільського господарства, що відкриває шлях до створення майбутнього, у якому робототехніка відіграватиме важливу роль у світовому виробництві харчових продуктів.

Список використаних джерел

1. Авраменко Є., Опанасенко В. Формування професійної компетентності майбутніх агроінженерів щодо використання AgTech-інновацій у сільському господарстві. *Наука і техніка сьогодні*. 2023. № 10 (24). С. 188–197. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-10\(24\)-188-197](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-10(24)-188-197).
2. Богдєорова Л., Мельниченко С., Маркелюк А. Просторово-часова динаміка якісних змін ефективності виробництва сільськогосподарських культур на підприємствах України у 2015 та 2019 роках. *Європейський науковий журнал економічних та фінансових інновацій*. 2020. Т. 2. № 6. С. 205–216. DOI: <https://doi.org/10.32750/10.32750/2020-0219>.
3. Бурлака С., Кириченко Р. Шляхи удосконалення робочих органів сівалок для точного землеробства. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2023. № 4 (111). С. 37–46. DOI: [10.37128/2306-8744-2023-4-6](https://doi.org/10.37128/2306-8744-2023-4-6).
4. Вишневецька О. Розвиток інноваційних технологій в рослинництві. *Наукові перспективи*. 2023. № 10 (40). С. 385–397. DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-10\(40\)](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-10(40)).
5. Гарафонова О., Маргасова В. Перспективи впровадження інноваційних технологій розвитку агропромислового комплексу України. *Socio-economic relations in the digital society*. 2022. № 3 (45). С. 19–28. DOI: <https://doi.org/10.55643/ser.3.45.2022.475>.
6. Гладких Т. Інноваційні підходи до вирішення екологічних проблем в аграрному секторі економіки та їх вплив на розвиток територіальних громад України. *Наукові інновації та передові технології*. 2024. № 5 (33). С. 748–757. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14\(28\)](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14(28)).

7. Головня О., Чемерис Ю. Сучасні тренди інноваційності ринку сільськогосподарської техніки в умовах глобального середовища. *Економіка та суспільство*. 2024. № 66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-18>.
8. Дугінець Г., Ніжейко К. Цифровізація аграрного сектору ЄС: досвід для України. *Економіка та суспільство*. 2023. № 56. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-148>.
9. Ільчук М., Свиноус І. Економічні аспекти інноваційної діяльності сільськогосподарських підприємств. *Економічний дискурс*. 2023. № 3–4. С. 46–54. DOI: <https://doi.org/10.36742/2410-0919-2023-2-4>.
10. Кононенко Л., Сисоліна Н., Сисоліна І. Формування стратегії підприємствами агропромислового комплексу в умовах циркулярної економіки. *Економічний простір*. 2023. № 184. С. 91–94. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/184-15>.
11. Марченко М. Диджиталізація процесів управління бізнес-діяльністю сільськогосподарських підприємств. *Галицький економічний вісник*. 2023. № 81 (2). С. 133–139. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2023.02.133.
12. Рудь А., Грушецький С., Корчак М., Замойський С. Роль сучасних технологій у забезпеченні сталого розвитку в сільському господарстві через оптимізацію процесів сівби. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Mechanization and Automation of Production Processes*. 2024. № 1 (55). С. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.9>.
13. Хахула Б. Економічні проблеми розвитку інноваційної діяльності в сільськогосподарських підприємствах України. *Продовольчі ресурси*. 2022. № 10 (19). С. 265–273. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-29>.
14. Шацька З., Прима В. Особливості впровадження інформаційних технологій в аграрному секторі України. *Агросвіт*. 2022. № 13–14. С. 60–64. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/20590> (дата звернення: 11.11.2024).
15. Melnychenko S., Morozova O., Bohadorova L. Spatial-temporal dynamics of qualitative changes in efficiency of agricultural production in agricultural holdings of Ukraine in 2015 and 2019. *Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University Economic Series*. 2021. № 101. P. 45–58. DOI: <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2021-101-05>.
16. Mykhailenko V., Safranov T. Estimation of Input of Unintentionally Produced Persistent Organic Pollutants into the Air Basin of the Odessa Industrial-and-Urban Agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. № 22 (9). P. 21–31. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>.

Osipov M. Yu.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Gardening and Park Management,
Uman National University of Horticulture
Uman, Ukraine*

E-mail: m3dsad@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7004-1164

Rud A. V.

*Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Agricultural Engineering and System Engineering named after Mykhailo Samokish,
Higher educational institution "Podillia State University"*

Kamyanets-Podilskyi, Ukraine

ORCID: 0000-0002-7206-7103

Liashko Yu.-Y. B.

Master,

*Postgraduate Student at the Professor M.K. Shykula Department of Soil Science and Soil Conservation,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Kyiv, Ukraine

E-mail: YuraLyashko.ua@gmail.com

ORCID: 0009-0009-2226-4756

INNOVATIVE APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF AGRONOMIC PROCESSES USING ROBOTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract

The integration of robotics and artificial intelligence (AI) in agriculture represents a transformative step in managing agronomic processes, unlocking potential for increased productivity, sustainability, and precision. This direction is relevant due to the rising global food demand, the need for more efficient resource use, and the environmental challenges faced by traditional agricultural methods. Conventional farming methods often lead to inefficient resource use, high labor costs, and suboptimal yields, making advanced technologies such as robotics and AI crucial for addressing these issues.

The purpose of this study is to explore innovative solutions in agronomic process management through the integration of robotics and AI, with a focus on their role in optimizing crop production, reducing waste, and enhancing the accuracy of agricultural practices.

The results of applying robotics and AI in agriculture demonstrate the potential of this approach. Autonomous robots equipped with sensors and AI algorithms can monitor soil conditions, detect pests, and assess plant health in real-time, enabling targeted adjustments. AI-based systems, using machine learning and predictive analytics, can optimize irrigation schedules, fertilizer use, and

pest control strategies, leading to more efficient resource use and higher crop yields. AI-powered drones and robots have shown the capability to perform tasks faster and with greater accuracy than traditional methods, helping reduce costs and increase productivity.

Thus, the innovative use of robotics and AI in agronomic process management is reshaping agriculture. These technologies not only improve the efficiency of agricultural operations but also pave the way for sustainable farming, reducing resource consumption and minimizing environmental impact.

Key words: digital agrotechnology, agricultural process automation, AI in farming, yield improvement, robotic systems.

References

1. Avramenko, Ye., Opanasenko, V. (2023). Formuvannya profesiinoi kompetentnosti maibutnikh ahroinzheneriv shchodo vykorystannia AgTech-innovatsii u silskomu hospodarstvi [Formation of professional competence of future agro-engineers in the use of AgTech innovations in agriculture]. *Nauka i tekhnika sohodni – Science and Technology Today*, no. 10 (24), pp. 188–197. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-10\(24\)-188-197](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-10(24)-188-197) [in Ukrainian].
2. Bohadorova, L., Melnychenko, S., Markeliuk, A. (2020). Prostorovo-chasova dynamika yakisnykh zmin efektyvnosti vyrobnytstva silskohospodarskykh kultur na pidpriemstvakh Ukrainy u 2015 ta 2019 rokakh [Spatial-temporal dynamics of qualitative changes in the efficiency of agricultural crop production at enterprises in Ukraine in 2015 and 2019]. *Yevropeiskyi naukovyi zhurnal Ekonomichnykh ta Finansovykh innovatsii – European Scientific Journal of Economic and Financial Innovations*, vol. 2, no. 6, pp. 205–216. DOI: <https://doi.org/10.32750/10.32750/2020-0219> [in Ukrainian].
3. Burlaka, S., Kyrychenko, R. (2023). Shliakhy udoskonalennia robochykh orhaniv sivalok dlia tochnoho zemlerobstva [Ways to improve the working elements of seeders for precision farming]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in Engineering and Technology*, no. 4 (111), pp. 37–46. DOI: [10.37128/2306-8744-2023-4-6](https://doi.org/10.37128/2306-8744-2023-4-6) [in Ukrainian].
4. Vyshnevetska, O. (2023). Rozvytok innovatsiinykh tekhnolohii v roslynnytstvi [Development of innovative technologies in crop production]. *Naukovi perspektyvy – Scientific Perspectives*, no. 10 (40), pp. 385–397. DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-10\(40\)](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-10(40)) [in Ukrainian].
5. Duhinets, H., Nizheiko, K. (2023). Tsyfrovizatsiia ahrarynoho sektoru YeS: dosvid dlia Ukrainy [Digitalization of the EU agricultural sector: experience for Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, no. 56. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-148> [in Ukrainian].
6. Harafonova, O., Marhasova, V. (2022). Perspektyvy vprovadzhennia innovatsiinykh tekhnolohii rozvytku ahropromysloвого комплексу Ukrainy [Prospects for the implementation of innovative technologies for the development of the agro-industrial complex of Ukraine]. *Socio-economic relations in the digital society*, no. 3 (45), pp. 19–28. DOI: <https://doi.org/10.55643/ser.3.45.2022.475> [in Ukrainian].
7. Hladkykh, T. (2024). Innovatsiini pidkhody do vyrishennia ekolohichnykh problem v ahrarynomu sektori ekonomiky ta yikh vplyv na rozvytok terytorialnykh hromad Ukrainy [Innovative approaches to solving ecological problems in the agricultural sector of the economy and their impact on the development of territorial communities of Ukraine]. *Naukovi innovatsii taпередovi tekhnolohii – Scientific Innovations and Advanced Technologies*, no. 5 (33), pp. 748–757. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14\(28\)](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2023-14(28)) [in Ukrainian].
8. Holovnia, O., Chemeris, Yu. (2024). Suchasni trendy innovatsiinosti rynku silskohospodarskoi tekhniky v umovakh hlobalnoho seredovysheha [Modern trends in the innovation of the agricultural machinery market in the context of the global environment]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and Society*, no. 66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-18> [in Ukrainian].
9. Ilchuk, M., Svyynous, I. (2023). Ekonomichni aspekty innovatsiinoi diialnosti silskohospodarskykh pidpriemstv [Economic aspects of innovative activities in agricultural enterprises]. *Ekonomichnyi dyskurs – Economic Discourse*, no. 3–4, pp. 46–54. DOI: <https://doi.org/10.36742/2410-0919-2023-2-4> [in Ukrainian].
10. Kononenko, L., Sysolina, N., Sysolina, I. (2023). Formuvannya stratehii pidpriemstvamy ahropromysloвого комплексу v umovakh tsyrkuliarnoi ekonomiky [Formation of strategies by enterprises of the agro-industrial complex under the conditions of a circular economy]. *Ekonomichnyi prostir – Economic Space*, no. 184, pp. 91–94. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/184-15> [in Ukrainian].
11. Marchenko, M. (2023). Didzhytalizatsiia protsesiv upravlinnia biznes-diialnistiu silskohospodarskykh pidpriemstv [Digitalization of business activity management processes in agricultural enterprises]. *Halytskyi ekonomichnyi visnyk – Galician Economic Bulletin*, no. 81 (2), pp. 133–139. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2023.02.133 [in Ukrainian].
12. Rud, A., Hrushetskyi, S., Korchak, M., Zamoiskyi, S. (2024). Rol suchasnykh tekhnolohii u zabezpechenni staloho rozvytku v silskomu hospodarstvi cherez optymizatsiiu protsesiv sivyb [The role of modern technologies in ensuring sustainable development in agriculture through optimization of sowing processes]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, no. 1 (55), pp. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.9> [in Ukrainian].
13. Khakhula, B. (2022). Ekonomichni problemy rozvytku innovatsiinoi diialnosti v silskohospodarskykh pidpriemstvakh Ukrainy [Economic problems of developing innovative activities in agricultural enterprises of Ukraine]. *Prodovolchi resursy – Food Resources*, no. 10 (19), pp. 265–273. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-29> [in Ukrainian].
14. Shatska, Z., Pryma, V. (2022). Osoblyvosti vprovadzhennia informatsiinykh tekhnolohii v ahrarynomu sektori Ukrainy [Features of the implementation of information technologies in the agricultural sector of Ukraine]. *Ahrosvit – Agroworld*, no. 13–14, pp. 60–64. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/20590> (date accessed: 11.11.2024) [in Ukrainian].
15. Melnychenko, S., Morozova, O., Bohadorova, L. (2021). Spatial-temporal dynamics of qualitative changes in efficiency of agricultural production in agricultural holdings of Ukraine in 2015 and 2019. *Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University Economic Series*, no. 101, pp. 45–58. DOI: <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2021-101-05> [in English].
16. Mykhailenko, V., Safranov, T. (2021). Estimation of input of unintentionally produced persistent organic pollutants into the air basin of the Odessa industrial-and-urban agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*, no. 22 (9), pp. 21–31. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/141479> [in English].

УДК 664.921

Скрипник В. О.

доктор технічних наук,
професор кафедри механічної та електричної інженерії,
Полтавський державний аграрний університет
Полтава, Україна
E-mail: viacheslav.skrupnyk@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0001-8883-7398

Пономаренко Б. Г.

аспірант,
асистент кафедри механічної та електричної інженерії,
Полтавський державний аграрний університет
Полтава, Україна
E-mail: bohdan.ponomarenko@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4047-1881

РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕТИКИ ВОЛОГОВМІСТУ І ТЕМПЕРАТУРИ В М'ЯСІ ЗА КОНДУКТИВНОГО СУШІННЯ ІЗ СТИСНЕННЯМ

Анотація

Важливішими задачами сучасної харчової промисловості, зокрема у сушінні харчової сировини, є збереження харчової цінності готового продукту та зниження енергетичних витрат. Кондуктивне сушіння вирішує такі завдання, але наразі досліджено недостатньо, що призводить до значного дефіциту наукових даних. Попит на продукти харчування з тривалим терміном зберігання, включно із сушеним м'ясом, особливо зростає в Україні через перебої з електропостачанням, викликані війною з росією. Це збільшує актуальність досліджень у цій галузі. Попередні дослідження переважно зосереджувалися на визначенні та аналізі кінетики вологовмісту та температури м'яса під час кондуктивного сушіння м'яса та не враховували стиснення самого м'яса. Залишалося невивченим, як стиснення може впливати на процес виведення вологи зі структури м'яса. У статті представлені результати експериментального дослідження кондуктивного сушіння сирого м'яса товщиною 0,003 м, 0,005 м і 0,007 м в умовах двобічного підведення теплоти з температурою поверхонь нагрівання до 130°C за різної маси навантаження, що створювало надлишковий тиск пари у поверхневому шарі сировини. Авторами досліджено і визначено кінетику вологовмісту та температури в умовах стиснення з навантаженням, визначено раціональну товщину сировини, а якість готового продукту оцінювалась органолептичним способом за 5-бальною шкалою. Результати досліджень порівнювались з даними попереднього дослідження, в якому вивчався цей процес без навантаження на нагрівальну поверхню, що були опубліковані раніше. У результаті було встановлено, що сушіння в умовах стиснення з навантаженням дає змогу значно скоротити тривалість процесу та зменшити витрату енергії, при цьому якість готового продукту залишається високою. Апроксимація експериментальних кінетик вологовмісту і температури дала змогу розробити аналітичні моделі процесу у вигляді модифікованих експонент, що враховують товщину дослідного зразка і масу навантаження.

Ключові слова: кондуктивний, кінетика температури, кінетика вологовмісту, сушіння, м'ясо, стиснення, надлишковий тиск, навантаження.

Вступ. Серед наявних способів кондуктивне сушіння вирізняється суттєвими перевагами [3; 6; 11]. Назва «кондуктивне сушіння» походить від процесу кондукції, тобто теплопровідності, коли тепло передається безпосередньо від гарячої поверхні до продукту шляхом теплопровідності. Цей спосіб застосовується у харчовій промисловості для обробки м'яса, риби, овочів, фруктів, зернових культур, а також для виготовлення м'ясних напівфабрикатів, овочевих і фруктових концентратів [2; 3], даючи змогу досягти потрібного кінцевого вологовмісту і зберегти якісні органолептичні показники. За сушіння м'яса важливим параметром, що впливає на тривалість процесу та витрату енергії, є товщина шару. Особливий інтерес у дослідженнях викликає процес кондуктивного сушіння в умовах стиснення з навантаженням, що викликає надлишковий тиск пари у поверхневому шарі м'яса. Вплив стиснення на м'ясо може значно змінювати кінетику процесу, що, в свою чергу, позначається на якісних характеристиках готового продукту і показниках процесу. Нещодавні дослідження [16] виявили необхідність подальшого пошуку способів інтенсифікації процесу кондуктивного сушіння, зокрема шляхом стиснення м'яса нагрівальними поверхнями.

Мета роботи полягає у визначенні впливу величини стиснення м'яса під час процесу кондуктивного сушіння на кінетику вологовмісту та температури поверхневих шарів м'яса, якість сушеного м'яса за органолептичними показниками, а також визначення раціональної товщини м'яса.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення експериментальних досліджень використувався стенд, розроблений на кафедрі механічної та електричної інженерії інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету (рис. 1).

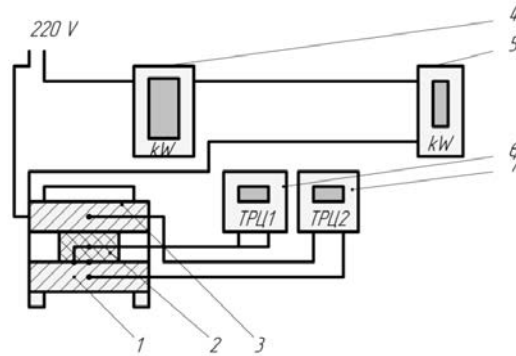


Рис. 1. Схема експериментального стенду для дослідження процесів кондуктивного сушіння м'яса

Примітка: 1 – нижня нагрівальна поверхня; 2 – верхня нагрівальна поверхня; 3 – дослідний зразок; 4 – однофазний лічильник електроенергії “Сиргум S121Н”; 5 – монітор-лічильник електроенергії “Smart-maic D101”; 6 – прилад «ТРЦ 02 Універсал плюс», що визначає температуру дослідного зразка; 7 – прилад «ТРЦ 02 Універсал плюс», що регулює температуру нижньої та верхньої нагрівальних плит

Стенд складається з модернізованого електричного контактного грилю “Frosty SP-1A3” (Італія), що забезпечує двостороннє підведення теплоти до дослідного зразка 3 нагрівальними поверхнями 1, 2. Регулювання температури зазначених поверхонь відбувається за допомогою приладу 7 «ТРЦ 02 Універсал плюс» і двох датчиків температури “pt 100”, які введено у верхню та нижню нагрівальні поверхні 1, 2 в точці, що відповідає геометричному центру кожної з поверхонь на глибину 0,00005 м від поверхні нагрівання. Витрата енергії фіксується за допомогою лічильника електроенергії 4 “Сиргум S121Н”, а також монітором-лічильником електроенергії “Smart-maic D101” 5, що надає можливість вимірювання, реєстрації та візуалізації зміни споживання електроенергії та параметрів електричної мережі. Маса дослідного зразка фіксувалася до і після сушіння за допомогою аналітичних ваг “AXIS AD-600” з точністю до 10^{-5} кг. Тривалість процесу кондуктивного сушіння фіксувалася за допомогою секундоміра. Температура на поверхні дослідного зразка контролювалася приладом 6 «ТРЦ 02 Універсал плюс» за рахунок 2 термопар ХК-0,5, спаї яких вводилися у поверхневий шар дослідного зразка.

Як сировину було придбано найдовший м'яз свинини у мережі магазинів «М'ясокомбінат м'ясний» (м. Полтава), з яких виготовили дослідні зразки, попередньо звільнивши сировину від жиру та плівок. Дослідні зразки відрізнялися за товщиною: № 1 – $0,07 \times 0,04 \times 0,003$ м; № 2 – $0,07 \times 0,04 \times 0,005$ м; № 3 – $0,07 \times 0,04 \times 0,007$ м. Дослідження проводили з кожним зразком в умовах стиснення нагрівальними поверхнями, розігрітими до температури 130°C . Температура нагрівальних поверхонь була вибрана таким чином, щоб запобігти виникненню негативних змін у м'ясі, зокрема утворенню гетероциклічних ароматичних амінів [5; 8–10; 13]. Стиснення реалізовували шляхом накладання гир масою 10 кг, 20 кг та 30 кг на верхню нагрівальну поверхню, що викликало утворення на початковому етапі надлишкового тиску пари у поверхневому шарі дослідних зразків $p = 35,03$ кПа, $p = 70,07$ кПа та $p = 105,12$ кПа відповідно. Надлишковий тиск у процесі видалення вологи поступово зникав, тому надалі було вирішено використовувати масу навантаження, що складалася з маси верхньої поверхні та гир масою 10 кг, 20 кг і 30 кг, за основний параметр, що впливав на стиснення м'яса.

Сирий зразок товщиною $\delta = 0,003$ м зважували на аналітичних вагах, висушували його в сушильній шафі до постійної маси [1], після чого фіксували масу висушеного остиглого зразка на аналітичних вагах. Значення вологовмісту розраховували за формулою (без урахування маси чаші, піску і скляної палички):

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%,$$

де m_1 – маса дослідного зразка до висушування; m_2 – маса дослідного зразка після висушування.

Наступний сирий зразок товщиною $\delta = 0,003$ м розміщували на нижній поверхні контактної грилю, вводили у поверхневий шар термопари і накривали верхньою поверхнею, відразу накладаючи гирі вагою 10 кг на верхню поверхню. Через 25 с зразок діставали, фіксуючи при цьому значення температури у поверхневому шарі. Після остигання зразок зважували на аналітичних вагах і висушували у сушильній шафі до постійної маси з подальшим розрахунком значення вологовмісту. Далі дослідні зразки товщиною $\delta = 0,003$ м сушили, збільшуючи тривалість процесу кожного наступного з них на 25 с.

Таким чином, вдалося встановити тривалість процесу кондуктивного сушіння дослідного зразка товщиною $\delta = 0,003$ м в умовах стиснення, викликаного гирею масою $G = 10$ кг, зафіксувати значення температури у поверхневому шарі зразка протягом процесу та розрахувати значення вологовмісту. Значення кінцевого вологовмісту W_k , до якого висушувалися дослідні зразки, було вибрано 5%, що на графіку відповідає значенню нуль.

Для оцінювання якості висушеного виробу та визначення значення витрати енергії додатково було проведено сушіння зразків відповідно до встановленої тривалості процесу. Значення витрати енергії фіксували за

різницею показників лічильника електроенергії, а якість висушеного виробу оцінювали за розробленою 5-бальною шкалою, яка наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Бальна шкала визначення органолептичних показників висушених виробів

Показник	5 балів	4 бали	3 бали	2 бали	1 бал
Зовнішній вигляд	Однорідна поверхня, без деформації	Незначна деформація	Нерівні краї, тріщини	Суттєва деформація	Виріб безформний
Консистенція	Щільна, пружна, легко розжовується	Трохи суха, але пружна	Трохи жорстка або ламка	Жорстка або крихка	Дуже жорстка
Запах	Насичений, виразний аромат сушеного м'яса	Легкий, виразний аромат	Нейтральний, без вираженого аромату	Слабкий непріємний запах підгорілості	Різкий непріємний запах підгорілості
Смак	Насичений, приємний, без сторонніх присмаків	Приємний, але менш насичений	Ненасичений, слабковиражений	Слабовиражений з підгорілим присмаком	Насичений підгорілий присмак
Колір	Рівномірний коричневий або коричнево-червоний відтінок з легким блиском	Рівномірний коричневий або коричнево-червоний відтінок	Рівномірний світло-коричневий	Коричневий з темними ділянками, в тому числі по краях виробу	Темно-коричневий з чорними ділянками, в тому числі по краях виробу

Всі дослідження проводили у триразовій повторюваності.

Новий дослідний зразок товщиною $\delta = 0,003$ м сушили за такою ж послідовністю з накладанням гир масою 20 кг.

Новий дослідний зразок $\delta = 0,003$ м сушили за такою ж послідовністю з накладанням гир масою 30 кг.

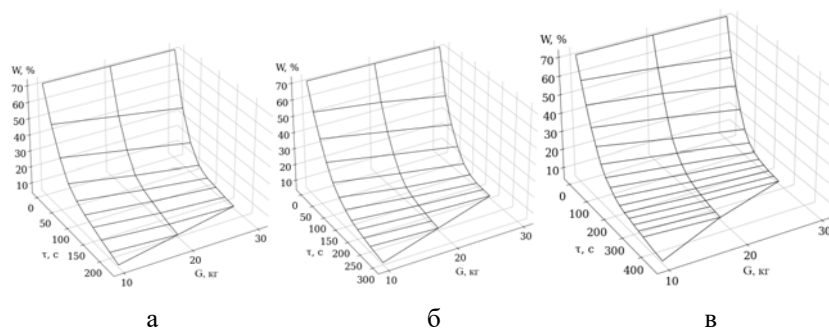
Сушіння дослідних зразків товщиною $\delta = 0,005$ м та $\delta = 0,007$ м проводилися за аналогічною методикою.

В результаті проведення досліджень були визначені значення вологовмісту та температури у поверхневому шарі, зафіксовано масу зразків до і після сушіння, кількість видаленої води, витрату енергії, тривалість процесу. Результати експериментального визначення зміни вологовмісту дослідних зразків зведено в табл. 2.

Таблиця 2. Вологовміст дослідних зразків

τ, c	$\sigma_1 = 0,003$ м			$\sigma_2 = 0,005$ м			$\sigma_3 = 0,007$ м		
	10 кг	20 кг	30 кг	10 кг	20 кг	30 кг	10 кг	20 кг	30 кг
0	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5
25	52	46	40	57	52	45	60	55,5	49
50	36	29	22	44	37	27	50	40	31
75	25	18	11	33	26	16	40	29	19
100	17	11,5	6	24	17,5	9	32	21	12,5
125	12	7,5	3	17,5	11	5	25	15	8
150	9	5	1,5	12,5	7,5	2,5	20	11	5,5
175	6	2,5	0	9,5	4,7	1	16,5	8	3,5
200	3	0		7,5	3	0	14	6	2
225	0			5,5	1,5		11,5	4,5	1,5
250				3,5	0		9,5	3	0,5
275				1,5			8	2	0
300				0			6,5	1	
325							5	0,5	
350							4	0	
375							3		
400							2		
425							1		
450							0		

Результати експериментального визначення зміни вологовмісту оброблялися за допомогою методів математичної статистики та кореляційного аналізу, внаслідок чого було визначено фактичну кінетику вологовмісту, графічно представлено на рис. 2.



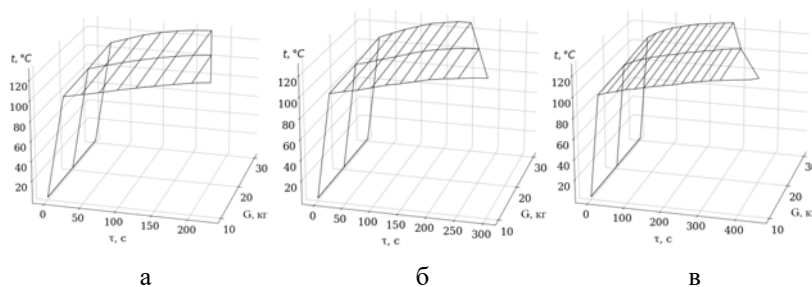
**Рис. 2. Фактична кінетика вологовмісту дослідних зразків
(а – товщина 0,003 м; б – товщина 0,005 м; в – товщина 0,007 м)**

Результати експериментального визначення зміни температури у поверхневому шарі дослідних зразків зведено в табл. 3.

Таблиця 3. Температура дослідних зразків

τ, с	$\sigma_1 = 0,003 \text{ м}$			$\sigma_2 = 0,005 \text{ м}$			$\sigma_3 = 0,007 \text{ м}$		
	10 кг	20 кг	30 кг	10 кг	20 кг	30 кг	10 кг	20 кг	30 кг
0	8	8	8	8	8	8	8	8	8
25	103	105	108	102	104	107	101	103	106
50	106,5	110	113,5	105	107,5	112	103	108	112
75	110	114,5	119	107,5	111,5	117	105	110,5	116
100	114	118,5	123	111	115	121	107,5	113	119
125	117,5	122	126	114,5	119	125	109	115	121
150	121	125	128	117	122,5	127	111	117	123
175	124	127,5	129	120	125	128	112,5	118,5	124
200	127	129		123	127	129	114,5	121	126
225	129			126,5	128,5		116	122	127
250				126	129		118	124	128
275				128			120	125	129
300				129			121,5	127	
325							123	128	
350							124	129	
375							125		
400							126		
425							127		
450							129		

Результати експериментального визначення зміни температури оброблялися за допомогою методів математичної статистики та кореляційного аналізу, внаслідок чого було визначено фактичну кінетику температури у поверхневому шарі дослідних зразків, графічно представлено на рис. 3.



**Рис. 3. Фактична кінетика температури дослідних зразків
(а – товщина 0,003 м; б – товщина 0,005 м; в – товщина 0,007 м)**

Результати визначення маси висушених зразків, кількість видаленої води, витрати енергії на процес кондуктивного сушіння представлено в табл. 4.

Органолептична оцінка якості сушеного м'яса проводилася відразу після його остигання. Для зразків товщиною $\delta = 0,003$ м під час стиснення з навантаженням масою $G = 10$ кг оцінка склала 4,0 бали, за $G = 20$ кг – 4,2 бали, а за $G = 30$ кг – 4,4 бали. Зразки товщиною $\delta = 0,005$ м отримали 3,6 бали під час стиснення з навантаженням масою $G = 10$ кг, 3,8 бали за $G = 20$ кг та 4,0 бали за $G = 30$ кг. Зразки товщиною $\delta = 0,007$ м показали нижчі результати: 3,0 бали під час стиснення з навантаженням масою $G = 10$ кг, 3,3 бали за $G = 20$ кг і 3,5 бали за $G = 30$ кг. Загалом зі збільшенням товщини зразка оцінка якості знижується.

Для аналізу отриманих результатів експериментального дослідження впливу стиснення, що викликає надлишковий тиск пари у поверхневому шарі м'яса, на процес кондуктивного сушіння дослідних зразків розглянемо окремо кінетику процесу.

Спочатку проаналізуємо фактичну кінетику вологовмісту. Як видно з рис. 2, збільшення маси навантаження G , що викликає стиснення дослідного зразка, приводить до інтенсивнішого видалення вологи, що узгоджується з основними теоретичними аспектами процесу сушіння [2; 6; 12; 14]. Найбільш інтенсивне видалення вологи спостерігається під час стиснення дослідного зразка навантаженням масою $G = 30$ кг. Тривалість досягнення кінцевого вологовмісту W_k під навантаженням $G = 30$ кг найменша порівняно з іншими. Зокрема, вже після 75...150 с вологовміст W опускається нижче 10%, що, ймовірно, пояснюється щільним контактом між нагрівальними поверхнями і сировиною, а також інтенсивною теплопередачею та виведенням утвореної пари за межі дослідного зразка. Під час стиснення навантаженням масою $G = 20$ кг видалення вологи є менш інтенсивним для усіх дослідних зразків. Це свідчить про те, що видалення вологи відбувається менш інтенсивно, а вологовміст W опускається нижче 10% після 150...225 с. Під час стиснення з навантаженням масою $G = 20$ кг процес зневоднення є найповільнішим. Дослідний зразок за таких умов досягає вологовмісту W нижче 10% після 175...300 с, що свідчить про суттєво повільніший процес видалення вологи.

Кожна з кривих, незалежно від стиснення, викликаного додатковим навантаженням, та надлишкового тиску пари у поверхневому шарі сировини, показує типовий для процесу сушіння вигляд: різке падіння вологовмісту на початку, яке сповільнюється у подальшому процесі. Це пояснюється короткотривалим періодом нагрівання м'ясної сировини та двома подальшими періодами сушіння [2; 7]. Більш детально цьому питанню присвячена робота [15], в якій розглянуто особливості м'ясної сировини, специфічний механізм видалення вологи за кондуктивного сушіння, причини та наслідки зниження інтенсивності видалення вологи у другому періоді та можливі шляхи інтенсифікації цього процесу. Авторами [15–16], які досліджували процес кондуктивного сушіння м'яса без додаткового навантаження, здійснено апроксимацію кінетики вологовмісту м'яса товщиною 0,003, 0,005 та 0,007 м під час сушіння з достовірністю 95,5% у вигляді модифікованої експоненти:

$$W = W_{\text{поч}} \cdot (0,989 + \sigma_m)^\tau,$$

де $W_{\text{поч}}$ – початковий вологовміст, кг/кг; σ_m – початкова товщина дослідного зразка, м; τ – тривалість процесу сушіння, с; 0,989 – кінетичний коефіцієнт.

Очевидно, що кінетика вологовмісту під час сушіння в умовах стиснення дослідного зразку, викликаного додатковим навантаженням, має аналогічний вигляд, а вплив самого навантаження враховує величину кінетичного коефіцієнта.

Апроксимація трендів кінетики вологовмісту м'яса товщиною 0,003, 0,005 та 0,007 м під час сушіння під навантаженням 10, 20 і 30 кг за даними табл. 2, дає можливість отримати аналітичну модель процесу кондуктивного

Таблиця 4. Показники процесу кондуктивного сушіння дослідних зразків

Найменування показника	Зусилля стиснення зразка товщиною 0,003 м, кг			Зусилля стиснення зразка товщиною 0,005 м, кг			Зусилля стиснення зразка товщиною 0,007 м, кг		
	10	20	30г	10	20	30	10	20	30
Тривалість, с	225	200	175	300	250	200	450	350	275
Початкова маса зразка, кг	0,018			0,020			0,022		
Маса висушеного зразка, кг	0,0058	0,0039	0,0029	0,0064	0,0047	0,0035	0,0067	0,0049	0,0038
Кількість видаленої вологи, кг	0,0122	0,0141	0,0151	0,0136	0,0153	0,0165	0,0153	0,0171	0,0182
Питома витрата енергії, кВт*год./1 кг випареної вологи	0,57	0,48	0,46	0,58	0,52	0,49	0,67	0,54	0,52

сушіння з достовірністю 95,5% у вигляді модифікованої експоненти, яка враховує вплив навантаження в діапазоні 0...30 кг (табл. 5):

$$W = W_{\text{поч}} \cdot ((0,989 - 0,0005 \cdot G) + \sigma_m)^t, \%$$

де G – маса додаткового навантаження під час сушіння, кг; 0,0005 – коефіцієнт, що враховує деформацію м'яса під час сушіння під навантаженням.

Таблиця 5. Визначення функції $w(\tau)$ – тренду процесу зміни вологовмісту під час кондуктивного сушіння під навантаженням

$\tau, \text{с}$	$\sigma_m = 0,003 \text{ м}$			$\sigma_m = 0,005 \text{ м}$			$\sigma_m = 0,007 \text{ м}$		
	10 кг	20 кг	30 кг	10 кг	20 кг	30 кг	10 кг	20 кг	30 кг
0	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5
25	52,3	46,0	40,5	55,0	48,4	42,6	57,8	51,0	44,9
50	37,7	29,2	22,6	41,7	32,4	25,1	46,1	35,8	27,8
75	27,2	18,6	12,7	31,6	21,6	14,8	36,8	25,2	17,2
100	19,6	11,8	7,1	24,0	14,4	8,7	29,4	17,7	10,6
125	14,1	7,5	4,0	18,2	9,7	5,1	23,4	12,4	6,6
150	10,2	4,8	2,2	13,8	6,5	3,0	18,7	8,7	4,1
175	7,3	3,0	1,2	10,5	4,3	1,8	14,9	6,1	2,5
200	5,3	1,9		7,9	2,9	1,0	11,9	4,3	1,6
225	3,8			6,0	1,9		9,5	3,0	1,0
250				4,6	1,3		7,6	2,1	0,6
275				3,5			6,0	1,5	0,4
300				2,6			4,8	1,1	
325							3,8	0,7	
350							3,1	0,5	
375							2,4		
400							1,9		
425							1,6		
450							1,2		

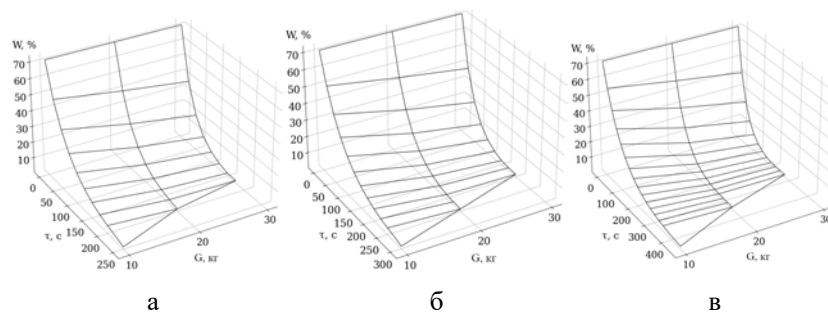


Рис. 4. Кінетика вологовмісту дослідних зразків за запропонованою моделлю (а – товщина 0,003 м; б – товщина 0,005 м; в – товщина 0,007 м)

Проаналізуємо фактичну кінетику температури в поверхневих шарах м'яса під час сушіння в умовах стиснення. Як видно з рис. 3, криві мають нелінійний характер. Поверхневі шари дослідних зразків миттєво набирають температуру $t = 100^\circ\text{C}$. В роботі [4] розраховано і експериментально підтверджено тривалість прогрівання поверхневих шарів від початкової температури (5°C) м'яса до $t = 100^\circ\text{C}$ під час кондуктивного смаження м'яса в умовах стиснення, яка складає, залежно від умов, 0,12...0,13 с. Після досягнення $t = 100^\circ\text{C}$ в поверхневих шарах інтенсивність підвищення температури сповільнюється для усіх зразків, що призводить до згладжування кривих. Нелінійний характер кривих, ймовірно, зумовлений зміною ефективності теплопередачі залежно від температури зразка та вмісту вологи, який в процесі сушіння зменшується.

Зі збільшенням товщини дослідного зразка спостерігається зростання тривалості досягнення заданої температури. Так, у дослідного зразка товщиною $\delta = 0,003 \text{ м}$ максимальна температура досягається в межах 175–225 с. Для дослідного зразка товщиною $\delta = 0,005 \text{ м}$ час досягнення тієї ж температури збільшується до 200–300 с. Для дослідного зразка товщиною $\delta = 0,007 \text{ м}$ максимальні температури досягаються через 275–450 с. Це підтверджує залежність між товщиною зразка δ і тривалістю процесу кондуктивного сушіння τ .

З фактичної кінетики температури поверхневих шарів м'яса видно, що збільшення маси навантаження G приводить до скорочення часу для досягнення максимальної температури. Так, для дослідного зразка товщиною $\delta = 0,003 \text{ м}$ за $G = 30 \text{ кг}$ максимальна температура досягається через 175 с, тобто за найкоротший час, тоді як за

$G = 10$ кг максимальна температура досягається через 225 с, тобто значно довше. Аналогічна тенденція спостерігається в решті дослідних зразків.

Автори [15–16] досліджували процес кондуктивного сушіння м'яса без додаткового навантаження. В зазначеній роботі здійснено апроксимацію фактичної кінетики температури поверхневих шарів м'яса товщиною 0,003, 0,005 та 0,007 м під час сушіння з достовірністю 95,5% у вигляді модифікованої експоненти:

$$t = t_{\text{п}} - (t_{\text{п}} - \Delta \bar{t}_{\text{ср}}) \cdot 0,98^{\tau}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $t_{\text{п}}$ – температура поверхонь нагріву, $^\circ\text{C}$; $\Delta \bar{t}_{\text{ср}}$ – середньотемпературний напір між поверхнею нагріву і поверхнею дослідного зразку, $^\circ\text{C}$; τ – тривалість процесу сушіння, с; 0,98 – кінетичний коефіцієнт.

Очевидно, що кінетика температури поверхневих шарів під час сушіння в умовах стиснення дослідного зразку, викликаного додатковим навантаженням, має аналогічний вигляд, а вплив самого навантаження враховує величину кінетичного коефіцієнта.

Апроксимація трендів кінетики температури поверхневих шарів м'яса товщиною 0,003, 0,005 та 0,007 м під час сушіння під навантаженням 10, 20 і 30 кг за даними табл. 2, 3 і 4 дає можливість отримати аналітичну модель тривалості процесу кондуктивного сушіння з достовірністю 95,5% у вигляді модифікованої експоненти, яка враховує вплив навантаження в діапазоні 0...30 кг і товщини дослідного зразку (табл. 6):

$$t = t_{\text{п}} - \left((3 \cdot \Delta \bar{t}_{\text{ср}} + 0,1 \cdot G) \cdot (0,987 + \sigma_{\text{м}})^{\tau} \right), \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $\Delta \bar{t}_{\text{ср}}$ – початковий середньотемпературний напір між поверхнею нагріву і поверхнею дослідного зразку під час сушіння, $^\circ\text{C}$; $\Delta \bar{t}_{\text{ср}} = 10^\circ\text{C}$.

В початковий момент (0 с) $\Delta \bar{t}_{\text{ср}} = 122^\circ\text{C}$, а кінетика набуває вигляду:

$$t = t_{\text{п}} - (\Delta \bar{t}_{\text{ср}} \cdot (0,987 + \sigma_{\text{м}})^{\tau}), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

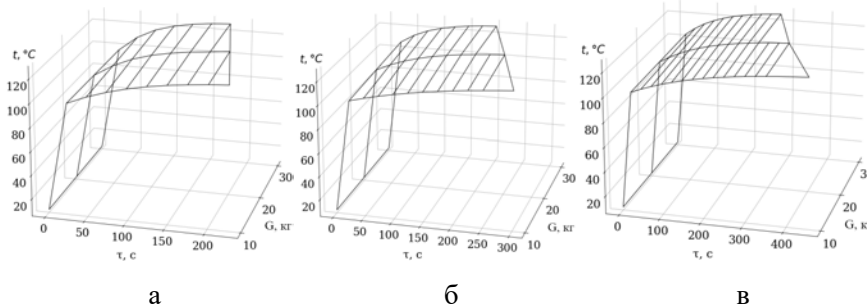


Рис. 5. Кінетика температури у поверхневому шарі дослідних зразків за запропонованою моделлю (а – товщина 0,003 м; б – товщина 0,005 м; в – товщина 0,007 м)

Аналіз кінетики вологовмісту та кінетики температури показує, що стиснення із зусиллям $G = 30$ кг максимально скорочує тривалість кондуктивного сушіння. Графічне порівняння зміни вологовмісту дослідних зразків товщиною $\delta = 0,003$ м, $\delta = 0,005$ м та $\delta = 0,007$ м під час стиснення з навантаженням масою $G = 30$ кг показано на рис. 6.

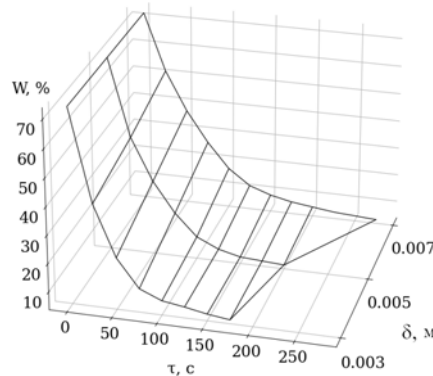


Рис. 6. Порівняння змін вологовмісту дослідних зразків м'яса різної товщини (0,003 м, 0,005 м, 0,007 м) під час стиснення із зусиллям 30 кг

Таблиця 6. Визначення функції $t(\tau)$ – тренду процесу зміни температури поверхневих шарів м'яса під час кондуктивного сушіння під навантаженням

$\tau, \text{с}$	$\sigma_m = 0,003 \text{ м}$			$\sigma_m = 0,005 \text{ м}$			$\sigma_m = 0,007 \text{ м}$		
	10 кг	20 кг	30 кг	10 кг	20 кг	30 кг	10 кг	20 кг	30 кг
0	8	8	8	8	8	8	8	8	8
25	99,3	98,5	97,7	102,7	105,1	107,4	102,7	103,5	104,3
50	105,9	108,1	110,1	105,9	110,6	114,5	105,9	108,0	110,0
75	111,2	115,0	118,0	108,7	114,9	119,4	108,7	111,8	114,5
100	115,4	119,7	122,7	111,2	118,3	122,7	111,2	114,9	117,9
125	118,7	122,9	125,6	113,4	120,9	125,0	113,4	117,5	120,6
150	121,2	125,2	127,4	115,4	122,9	126,6	115,4	119,7	122,7
175	123,1	126,7	128,4	117,1	124,5	127,7	117,1	121,4	124,3
200	124,7	127,7	129,0	118,6	125,7	128,4	118,6	122,9	125,6
225	125,8	128,4		120,0	126,7		120,0	124,1	126,6
250				121,1	127,4		121,1	125,1	127,3
275				122,2			122,2	126,0	127,9
300				123,1			123,1	126,7	
325							123,9	127,2	
350							124,6	127,7	
375							125,3		
400							125,8		
425							126,3		
450							126,8		

Аналіз витрати енергії також показує зменшення її споживання зі збільшенням маси навантаження G . З табл. 4 видно, що для зразка товщиною $\delta = 0,003 \text{ м}$ питома витрата енергії складає $0,46 \text{ кВт*год}$ за $G = 30 \text{ кг}$; $0,48 \text{ кВт*год}$ за $G = 20 \text{ кг}$; $0,57 \text{ кВт*год}$ за $G = 10 \text{ кг}$. Для зразка товщиною $\delta = 0,005 \text{ м}$ питома витрата енергії складає $0,49 \text{ кВт*год}$ за $G = 30 \text{ кг}$; $0,52 \text{ кВт*год}$ за $G = 20 \text{ кг}$; $0,58 \text{ кВт*год}$ за $G = 10 \text{ кг}$. Для зразка товщиною $0,007 \text{ м}$ питома витрата енергії складає $0,52 \text{ кВт*год}$ за $G = 30 \text{ кг}$; $0,54 \text{ кВт*год}$ за $G = 20 \text{ кг}$; $0,67 \text{ кВт*год}$ за $G = 10 \text{ кг}$.

Результати органолептичної оцінки показали найвищі бали у дослідних зразків товщиною $\delta = 0,003 \text{ м}$, збільшення маси навантаження G покращує органолептичні властивості готового виробу. У зразка товщиною $\delta = 0,005 \text{ м}$ бали нижчі, при цьому збільшення зусилля стиснення також позитивно впливає на органолептичні властивості сушеного м'яса. У зразків товщиною $\delta = 0,007 \text{ м}$ якісні показники покращуються зі збільшенням маси навантаження G , проте найнижчі бали серед усіх зразків. Таким чином, найкращі результати отримані для зразків товщиною $\delta = 0,003 \text{ м}$ під час стиснення з навантаженням масою $G = 30 \text{ кг}$.

Порівняння результатів поточних експериментальних досліджень з результатами попередніх досліджень [16] дає можливість констатувати, що раціональна товщина м'яса становить $\delta = 0,003 \text{ м}$. Стиснення м'яса нагрівальними поверхнями з навантаженням масою $G = 10 \text{ кг}$, $G = 20 \text{ кг}$ та $G = 30 \text{ кг}$ скорочує тривалість процесу та зменшує витрату енергії. Максимально інтенсифікує процес кондуктивного сушіння м'яса стиснення з навантаженням масою $G = 30 \text{ кг}$. Отримані результати експериментально підтверджують гіпотезу, висунуту у публікації [15].

Висновки. За результатами експериментів встановлено фактичну кінетику вологовмісту і температури у поверхневому шарі в умовах стиснення. Дослідження показали, що стиснення істотно впливає на тривалість процесу сушіння та витрату енергії незалежно від товщини виробу. Встановлено, що питома витрата енергії найменша у зразків товщиною $0,003 \text{ м}$ і склала $0,46 \text{ кВт*год/кг}$ випареної вологи, що обґрунтовує раціональну товщину під час кондуктивного сушіння в умовах стиснення $0,003 \text{ м}$. Апроксимація фактичної кінетики вологовмісту і температури підтверджує загальний вигляд їхніх аналітичних моделей у вигляді модифікованих експонент, що враховують товщину дослідного зразка і масу навантаження. Подальші дослідження будуть спрямовані на пошук можливостей додаткового скорочення тривалості процесу і зменшення витрат енергії.

Список використаних джерел

1. ДСТУ ISO 1442:2005. М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення вмісту вологи (контрольний метод) (ISO 1442:1997, IDT). [Чинний від 2008-03-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 9 с.
2. Погожих М.І., Потапов В.О., Пак А.О., Жеребкін М.В. Енергоефективні технології та техніка сушіння харчової сировини: навчальний посібник. Харків: ХДУХТ, 2016. 234 с.
3. Скрипник В.О., Пономаренко Б.Г. Можливість використання наявних способів для сушіння жареного м'яса. *Вісник ПДАА*. 2022. № 2. С. 287–295.
4. Скрипник В.О., Молчанова Н.Ю., Фарісеєв А.Г., Тарасенко Д.С. Підвищення енергетичної і ресурсної ефективності процесів і апаратів кондуктивного жарення м'яса: монографія. Полтава: ПДАУ, 2024. 274 с.
5. Acar C., Dincer I., Mujumdar A. A comprehensive review of recent advances in renewable-based drying technologies for a sustainable future. *Drying Technology*. 2020. Vol. 40. No. 6. P. 1029–1050.

6. Aksoy A., Karasu S., Akcicek A., Kayacan S. Effects of different drying methods on drying kinetics, microstructure, color, and the rehydration ratio of minced meat. *Foods*. 2019. Vol. 8. No. 6. P. 216.
7. Aykan N.F. Red meat and colorectal cancer. *Oncology reviews*. 2015. Vol. 9. No. 1.
8. Cross A.J., Sinha R. Meat-related mutagens/carcinogens in the etiology of colorectal cancer. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 2004. Vol. 44. No. 1. P. 44–55.
9. Domingo J.L., Nadal M. Carcinogenicity of consumption of red meat and processed meat: a review of scientific news since the IARC decision. *Food and chemical toxicology*. 2017. Vol. 105. P. 256–261.
10. Hayashi H. Drying technologies of foods -their history and future. *Drying Technology*. 1989. Vol. 7. No. 2. P. 315–369.
11. Hnin K.K., Zhang M., Mujumdar A.S., Zhu Y. Emerging food drying technologies with energy saving characteristics: a review. *Drying Technology*. 2018. Vol. 37. No. 12. P. 1465–1480.
12. Kurek M., Hanula M., Wierzbick, A., Póttorak A. Formation of carcinogens in processed meat and its measurement with the usage of artificial digestion – a review. *Molecules*. 2022. Vol. 27. No. 14. P. 46–65.
13. Llavata B., Garcia-Perez J. V., Simal S., Carcel J. A. Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. *Current opinion in food science*. 2019. Vol. 35. P. 20–26.
14. Molognoni L., Dagher H., Motta G.E., Merlo T.C., Lindner J.D. Interactions of preservatives in meat processing: formation of carcinogenic compounds, analytical methods, and inhibitory agents. *Food research international*. 2019. Vol. 125.
15. Skrypnyk V.O., Ponomarenko B.G. Analytical justification of the conductive drying process of meat. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*. 2024. Vol. 2. No. 56. P. 79–85.
16. Skrypnyk V.O., Semenov A.O., Ponomarenko B.H., Farisieiev A.H. Mechanism of determining the kinetics of moisture content and temperature in meat during conductive drying. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2024. Vol. 32. No. 1. P. 89–98.

Skrypnyk V. O.

*Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Mechanical and Electrical Engineering,
Poltava State Agrarian University
Poltava, Ukraine*

E-mail: viacheslav.skrypnyk@pdau.edu.ua

ORCID: 0000-0001-8883-7398

Ponomarenko B. G.

*Postgraduate Student,
Assistant at the Department of Mechanical and Electrical Engineering,
Poltava State Agrarian University
Poltava, Ukraine*

E-mail: bohdan.ponomarenko@pdau.edu.ua

ORCID: 0000-0002-4047-1881

RESULTS OF DETERMINING THE KINETICS OF MOISTURE CONTENT AND TEMPERATURE KINETICS IN MEAT DURING CONDUCTIVE DRYING WITH COMPRESSION

Abstract

The key challenges of modern food processing, particularly in the drying of food raw materials, include preserving the nutritional value of the final product while reducing energy consumption. Conductive drying addresses these issues, but it remains insufficiently researched, leading to a significant shortage of scientific data. The demand for long-shelf-life food products, including dried meat, has notably increased in Ukraine due to power supply disruptions caused by the war with Russia. This heightens the relevance of research in this field. Previous studies have primarily focused on determining and analyzing the kinetics of moisture content and temperature during the conductive drying of meat, without considering the compression of the meat itself. How compression affects the moisture removal process from the meat's structure remains unexplored. This study presents the results of an experimental investigation of the conductive drying of raw meat with thicknesses of 0.003 m, 0.005 m, and 0.007 m under bilateral heat supply conditions, with surface temperatures reaching up to 130°C and varying load weights that created excess steam pressure in the surface layer of the raw material. The authors examined and identified the moisture content and temperature kinetics under compression conditions with loading, determined the optimal thickness of the raw material, and assessed the quality of the final product using organoleptic methods on a 5-point scale. The results were compared with data from previous research, which studied this process without loading on the heating surface, published earlier. The findings revealed that drying under compression with loading significantly reduces the process duration and energy consumption while maintaining high product quality. The approximation of the experimental moisture content and temperature kinetics enabled the development of analytical models of the process in the form of modified exponents, taking into account the sample thickness and the applied load mass.

Key words: conductive, temperature kinetics, moisture content kinetics, drying, meat, compression, excess pressure, load.

References

1. International Organization for Standardization. (2023). Meat and meat products – Determination of moisture content (Reference method). <https://www.iso.org/standard/82664.html> [in English].

2. Pohozykh, M.I., Potapov, V.O., Pak, A.O., & Zherebkin, M.V. (2016). Enerhoefektyvni tekhnolohii ta tekhnika sushinnia kharchovoi syrovyny. [Energy-efficient technologies and equipment for drying food raw materials]. Kharkiv: KhDUKhT [in Ukrainian].
3. Skrypnyk, V.O., & Ponomarenko, B.H. (2022). Mozhlyvist vykorystannia naiavnykh sposobiv dlia sushinnia zharenoho miasa [The possibility of applying of existing methods for the fried meat drying process]. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 287–295. DOI: 10.31210/visnyk2022.02.34 [in Ukrainian].
4. Skrypnyk, V.O., Molchanova, N.Yu., Farisieiev, A.H., & Tarasenko, D.S. (2024). Pidvyshchennia enerhetychnoi i resursnoi efektyvnosti protsesiv i aparativ konduktivnoho zharennia miasa. [Improving the energy and resource efficiency of meat conductive roasting processes and apparatus]. Poltava, PDAU [in Ukrainian].
5. Acar, C., Dincer, I., & Mujumdar, A. (2020). A comprehensive review of recent advances in renewable-based drying technologies for a sustainable future. *Drying Technology*, 40 (6), 1029–1050. DOI: 10.1080/07373937.2020.1848858 [in English].
6. Aksoy, A., Karasu, S., Akcicek, A., & Kayacan, S. (2019). Effects of Different Drying Methods on Drying Kinetics, Microstructure, Color, and the Rehydration Ratio of Minced Meat. *Foods*, 8 (6), 216. DOI: 10.3390/foods8060216 [in English].
7. Aykan, N.F. (2015). Red meat and colorectal cancer. *Oncology reviews*, 9 (1), 288. DOI: 10.4081/oncol.2015.288 [in English].
8. Cross, A.J., & Sinha, R. (2004). Meat-related mutagens/carcinogens in the etiology of colorectal cancer. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 44 (1), 44–55. DOI: 10.1002/em.20030 [in English].
9. Domingo, J.L., & Nadal, M. (2017). Carcinogenicity of consumption of red meat and processed meat: a review of scientific news since the IARC decision. *Food and chemical toxicology*, 105, 256–261. DOI: 10.1016/j.fct.2017.04.028 [in English].
10. Hayashi, H. (1989). Drying Technologies of Foods -Their History and Future. *Drying Technology*, 7 (2), 315–369. DOI: 10.1080/07373938908916590 [in English].
11. Khaing Hnin, K., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Zhu, Y. (2018). Emerging food drying technologies with energy-saving characteristics: A review. *Drying Technology*, 37 (12), 1465–1480. DOI: 10.1080/07373937.2018.1510417 [in English].
12. Kurek, M., Hanula, M., Wierzbicka, A., & Poltorak, A. (2022). Formation of carcinogens in processed meat and its measurement with the usage of artificial digestion – a review. *Molecules*, 27 (14), 4665. DOI: 10.3390/molecules27144665 [in English].
13. Llavata, B., García-Pérez, J. V., Simal, S., & Cárcel, J. A. (2020). Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. *Current Opinion in Food Science*, 35, 20–26. DOI: 10.1016/j.cofs.2019.12.001 [in English].
14. Molognoni, L., Daguer, H., Motta, G.E., Merlo, T.C., & Lindner, J.D. (2019). Interactions of preservatives in meat processing: formation of carcinogenic compounds, analytical methods, and inhibitory agents. *Food research international*, 125, 108608. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108608 [in English].
15. Skrypnyk, V.O., & Ponomarenko, B.G. (2024). Analytical justification of the conductive drying process of meat. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*, 2 (56), 79 – 85. DOI: 10.32782/msnau.2024.2.11 [in Ukrainian].
16. Skrypnyk, V.O., Semenov, A.O., Ponomarenko, B.H., & Farisieiev, A.H. (2024). Mechanizm of determining the kinetics of moisture content and temperature in meat during conductive drying. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32 (1), 89–98. DOI: 10.15421/jchemtech.v32i1.285130 [in English].

УДК 667.637.2:621.029

Федірко П. П.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: pavlo.fedirko@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3724-8937

Дуганець В. І.

кандидат технічних наук, завідувач кафедри,
доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: duganec.vasil@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2946-2850

Бончик В. С.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: vitaliy-bonchik@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9155-2465

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ВІДНОВЛЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ БЕЗ ВИДАЛЕННЯ ПРОДУКТІВ КОРОЗІЇ

Анотація

У статті викладено склад ґрунту перетворювача іржі, а також технологію нанесення лакофарбових покриттів. Проаналізовано механізми корозійного та електрохімічного поведіння сталей в агресивних експлуатаційних середовищах аграрного виробництва. Описано історію відкриття, класифікацію та сфери застосування перетворювачів продуктів корозії (іржі), завдяки яким нема потреби у повному видаленні продуктів корозії з поверхні металу під час проведення ремонтних робіт.

Перетворювачі іржі вступають в реакцію з продуктами корозії, утворюючи захисний шар, який запобігає подальшій корозії і є доброю основою для нанесення лакофарбових матеріалів. Також наведені склади перетворювачів вітчизняного виробництва і технологія їх нанесення. За дотримання технології та врахуванні сумісності лакофарбових матеріалів застосування перетворювачів іржі суттєво знижує витрати на антикорозійний захист. Знижуються витрати під час нанесення лакофарбового покриття внаслідок суміщення операцій.

Доведено, що є дефіцит обладнання для якісної підготовки поверхні металу перед нанесенням покриття, здійснення протикорозійного захисту, корозійного контролю і значним залишається обсяг робіт із протикорозійного захисту металоконструкцій у так званих польових умовах, коли поверхню перед нанесенням покриття абияк зачищають металевими щітками, неочищеним піском тощо. Така «підготовка», крім зайвих витрат, практично не дає позитивного ефекту, оскільки після нанесення на погано підготовлену поверхню металу покриття під ним розвивається підпількова корозія, яка швидко руйнує конструкцію. Проте така практика поширена під час прокладання водогонів, газових мереж середнього тиску, ремонту мостів, веж тощо. В Україні розроблене обладнання для якісної надзвукової, термоабразивної, гідроабразивної підготовки поверхні.

Проаналізовано проблему збереження машин у невеликих господарствах порівняно з агрохолдингами, які у роботі застосовують дорогі імпортні матеріали і техніку. Також бракує кваліфікованих фахівців, здатних займатися обслуговуванням і ремонтом. Тому актуальною темою є проведення пошукових досліджень для розроблення методик відновлення лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки, яка не потребує високої кваліфікації персоналу і значних витрат.

Доведено, що найпоширенішим методом видалення продуктів корозії з поверхні, окрім механічної обробки, є кислотне травлення, яке має істотні недоліки: разом з видаленням продуктів корозії розчиняється частина поверхні металу деталі; утворюються кислотні тумани, шкідливі для органів дихання; виникає потреба в утилізації стічних вод, які утворюються в результаті промивання металевих заготовок після кислотного травлення. Запропонований альтернативний спосіб обробки кородованої поверхні металоконструкцій для використання перетворювачів іржі.

Ключові слова: продукти корозії, перетворювач іржі, лакофарбові покриття, модифікатор іржі, фосфорна кислота, металеві вироби, перетворення, фосфатування.

Вступ. Величезні витрати на заміну чи відновлення вражених корозією металевих частин, деталей машин і устаткування, конструкцій будівель і виробів широкого вжитку спонукають людство до пошуків засобів захисту від корозії. Дослідження і досвід багаторічної експлуатації металевих виробів показують, що найважливішим моментом у захисті та запобіганні корозії є надійна і правильна підготовка поверхонь металів до пофарбування. Легше і надійніше запобігти процесу корозії, ніж зупинити й відновити вражені деталі та вироби на металевих конструкціях агрегатів сільськогосподарської техніки.

Згідно зі статистичними даними, щорічні втрати металів через корозію в Україні складають до 12% загальної маси, що відповідає втраті до 30% щорічного виробництва металу. Дослідження стану сільськогосподарської техніки, особливо мобільної, після 1–3 років експлуатації дає змогу дійти висновку, що корозійного впливу тою чи іншою мірою зазнають понад 70–80% складових одиниць і деталей машин. Корозійні пошкодження є об'єктивним і закономірним результатом впливу довкілля, динамічних навантажень, термодинамічної нестійкості металевих матеріалів, з яких виготовлені деталі сільськогосподарських машин. Тому зростає необхідність вжиття заходів, спрямованих на підтримку ресурсу наявних машин, у тому числі виконання робіт щодо забезпечення антикорозійного захисту машинно-тракторного парку.

Сьогодні в Україні лакофарбові матеріали пропонує понад сто різних організацій, більшість яких є не виробниками, а лише посередниками. При цьому пропонується лакофарбова продукція здебільшого не відповідає вимогам сертифіката якості й реалізується за обмеженою кількістю показників фізико-механічних та захисних властивостей. Доволі часто антикорозійні засоби випускаються без зазначення хімічного складу, лише під певною торговельною маркою. Якщо ж інформація про складники наводиться, відсутність державних стандартів і належного контролю якості продукції дає змогу виробникам відхилитись від зазначених у супровідній документації рецептур, використовувати сировину неналежної якості. Ситуація ускладнюється тим, що доволі часто порушується технологія застосування, що призводить до значного зниження очікуваного ефекту.

Зважаючи на сучасний критичний стан металофонду України, проблема його протикорозійного захисту набуває значення однієї з пріоритетних та вимагає вирішення на державному рівні шляхом розроблення та прийняття відповідної науково-технічної програми із захисту від корозії конструкційних матеріалів у базових галузях промисловості на найближчі роки.

Одним з перспективних методів відновлення лакофарбових покриттів є поєднання операцій видалення іржі й нанесення ґрунту в одну операцію шляхом застосування ґрунту перетворювача іржі.

В основу дії перетворювачів іржі покладено перетворення продуктів корозії на захисний шар, на який потім наносяться лакофарбові матеріали. Тобто перетворювачі іржі – це засоби, що дають змогу підготувати поверхню з чорного металу під фарбування без попереднього ретельного видалення продуктів корозії.

Великий інтерес у дослідників викликав комплексний перетворювач неорганічного типу, що містить заліzosинеродистий калій (червону кров'яну сіль) і ортофосфорну кислоту. У зарубіжних країнах він з'явився в 40-х роках минулого століття і менш ніж через 20 років вітчизняні винахідники розробили свої винаходи [6; 7].

Попри переваги, ґрунти-перетворювачі іржі досі мало застосовуються для фарбування кородованої сільськогосподарської техніки через перелік істотних недоліків, а саме:

- низька швидкість перетворення продуктів корозії металу;
- нестабільність фізико-механічних властивостей покриттів, що викликається непостійністю кількісного складу іржі;
- незадовільна якість покриттів під час фарбування металу, що не має іржі;
- необхідність перекривати покриття хімічно стійкими ґрунтами.

Становлення перетворювачів іржі як засобів захисту металоконструкції від корозії пройшло довгий і складний шлях. Деякі рецептури містили компоненти, які шкодили здоров'ю персоналу і довкіллю. Багато виробників спочатку відмовлялися від їх використання, через що перетворювачі іржі використовувалися в невеликих кількостях і часом навіть нелегально. Це допомогло обґрунтувати доцільність їх використання для захисту металевих виробів, що дало змогу знизити трудомісткість фарбувальних робіт, а також підвищити захисні властивості лакофарбових покриттів, що утворилися на поверхнях, оброблених перетворювачами [1–5].

Для розв'язання поставлених проблем необхідно підвищити ефективність нанесення лакофарбових покриттів на основі ґрунту перетворювача іржі шляхом розроблення нової технології.

Мета роботи полягає в популяризації та поширенні нових технологій захисту металів від корозії шляхом упередження початку процесів корозії з подальшим захисним фарбуванням поверхні, дослідженні складу й основних властивостей вітчизняних ґрунтів-перетворювачів іржі та покриттів на їх основі та відборі найбільш перспективних з них для подальших досліджень.

Вклад основного матеріалу дослідження. Виконаний аналіз дав змогу провести класифікацію кородованих поверхонь за кількістю корозії. Запропоновано три групи поверхонь: чисті (до 0,011 г/дм²), середньокородовані (від 0,012 до 0,25 г/дм²) й іржаві (понад 0,26 г/дм²).

За літературними даними, за основу взятий перетворювач іржі зі співвідношенням вихідних компонентів 1:8. Але в жодному джерелі не обґрунтовані причини прийняття такого складу композиції. Тим часом питання вибору оптимального співвідношення жовтої кров'яної солі й ортофосфорної кислоти може виявитися

вирішальним під час визначення ефективності перетворення іржі та набуття антикорозійних властивостей таких покриттів. У зв'язку з цим належало визначити оптимальне співвідношення вихідних солі та кислоти, що дасть змогу значно скоротити обсяг експериментальних робіт [8].

Вирішення поставленого питання залежить від правильного вибору критеріїв оцінки оптимальності складу, що розробляється. Нами прийняті:

- повнота і швидкість протікання реакцій перетворення продуктів корозії;
- питома витрата початкових компонентів під час їх взаємодії із залізом і його оксидами.

Розрахунки велися в такій послідовності.

За стехіометричними рівняннями визначався функціональний зв'язок між співвідношенням вихідних компонентів і кількістю перетворювача іржі, що виходить при цьому. Розрахунки робилися для співвідношення сіль/кислота = 1/2, 1/3, 1/4...1/11. Результати розрахунків представлені графіками (рис. 1, 2).

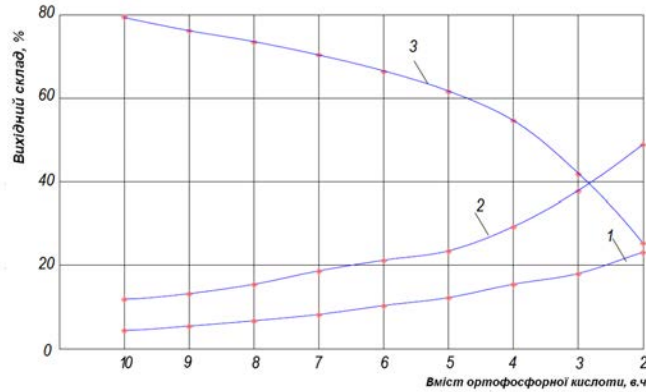


Рис. 1. Зміна початкового складу перетворювача іржі залежно від співвідношення компонентів:
1 – вміст Fe(OH)₃; 2 – Fe(OH)₂; 3 – вміст Fe

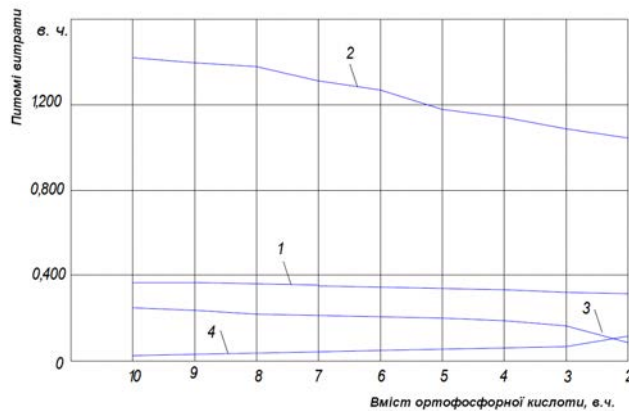


Рис. 2. Зміна питомої витрати перетворювача іржі залежно від співвідношення компонентів:
1 – вміст Fe(OH)₃; 2 – Fe(OH)₂; 3 – вміст Fe; 4 – потрібна кількість для повного протікання реакції із залізом

Зіставленням значень зміни початкового складу перетворювача іржі встановлено, що оптимальним є співвідношення жовтої кров'яної солі і ортофосфорної кислоти.

Оскільки кількість іржі розподілена нерівномірно всією поверхнею металу, отриманий результат округлюємо до найближчого значення, кратного 0,5.

Застосування перетворювача іржі як кислотного компонента ґрунтовки матеріалу може й не дати очікуваного ефекту, зважаючи на наявність в його складі розчинного у воді ортофосфату калію. Ця сіль збільшує відсотковий вміст пігменту, що може знизити еластичність плівки. Тому бажано позбавитися ортофосфату калію його видаленням у процесі приготування кислотного компонента ґрунту [9; 10].

Під час виготовлення кислотного компонента заліzosинеродисту кислоту необхідно змішати з ортофосфорною, дотримуючи пропорцію 1:3,5.

Окрім загальних вимог, що висуваються до лакофарбових матеріалів, перетворювачі іржі повинні забезпечувати:

- сумісність плівкотвірного компонента з кислотним;
- відповідність швидкостей перетворення іржі і затвердіння плівкотвірного компонента;
- зв'язування залишків кислот, що не прореагували, і кислих солей плівкотвірним компонентом;
- стабільність властивостей кислотного та інших компонентів.

Усі вимоги зводяться до правильного підбору рецептури плівкотвірного компонента і розчинів. Для цих цілей найбільш відповідними є такі полімерні матеріали:

- епоксидна смола;
- феноло-формадегідна смола;
- полівинілбутираль.

Готовий ґрунт слід зберігати в упакованому виконанні. При цьому за 30 хвилин до нанесення покриття кислотний компонент повинен розчинитися в спирті, а потім додаватися в основу ґрунту.

Співвідношення кількості плівкотвірного і кислотного компонентів необхідно підбирати, враховуючи максимально можливу кількість перетвореної іржі та мінімальний залишок не прореагованих кислот. Плівкотвірний компонент має бути малов'язким, що полегшує видалення виділеного водню під час реакції ортофосфорної кислоти із залізом.

Наступні дослідження кислотного компонента проводилися за визначенням тимчасового інтервалу протікання реакцій і кількості перетворювача іржі.

Дослідження проводилися на зразках виготовлених з листової сталі марки 08кп. За станом поверхні зразки підрозділялися на такі групи.

- 1) Іржа, що містить рівномірний шар, $K = 0,5$ г/дм².
- 2) Корозії, що містять вогнища, $K = 0,25$ г/дм².
- 3) Очищені від корозії $K = 0,05$ г/дм².

Кількість перетворювача іржі, необхідна для повного очищення зразків, визначалася гравіметричним методом.

У результаті проведених експериментів було встановлено, що повне очищення зразків відбувається під час нанесення $0,25$ г/дм² перетворювача іржі.

Таким чином, на підставі проведених експериментів було встановлено:

– дійсну кількість перетворювача іржі, потрібну для повного очищення кородованого металу, а саме $0,25$ г/дм²;

– активний час завершення перетворення продуктів корозії, а саме 45 хвилин, що дало змогу підібрати плівкотвірний компонент ґрунту перетворювача іржі за часом його затвердіння.

Для оцінки фізико-механічних властивостей ґрунту перетворювача іржі паралельно випробовувались серійні ґрунти марок ГФ-020, ВЛ-023 і ОБВА-0112. Як підкладки (фарбований матеріал) застосовувались пластини із сталей марок 45 і 08кп та сірого чавуну марки СЧ15.

Для визначення адгезії був використаний метод нормального відриву двох склеєних плоских поверхонь (метод грибків). Відривання проводили бруском, приклеєним до затверділого покриття. Перед відриванням плівку надрізали по його контурах.

Разом з ґрунтом перетворювачем іржі випробуванню на міцність зчеплення піддавалися зразки, вкриті тільки перетворювачем іржі (кислотним компонентом) по поверхні, що містить $0,5$ г/дм² іржі. Встановлено, що наявність плівкотвірного компонента підвищує адгезію ґрунту до ідентичної поверхні майже вдвічі.

Для визначення внутрішньої напруги в покриттях найбільш точним і порівняним є консольний метод виміру. Дослідження кінетики наростання внутрішньої напруги в покриттях під час їх формування робилося з реєстрацією відхилення вільного кінця консольно-закріпленої пластинки через 5 хвилин впродовж години або через 1 хвилину, якщо зразок відхилявся інтенсивно.

Отримані дані усереднювалися, а потім будувалися кінетичні криві зміни внутрішніх напружень в процесі формування ґрунтів.

За стабілізацією внутрішньої напруги можна судити про закінчення формування покриттів, тобто точно визначити час затвердіння ґрунту.

Пластичність, або міцність плівки під час вигину, визначали на приладі ШГ-1 (шкала гнучкості). Шкала гнучкості була набором стержнів таких діаметрів: 20, 15, 10, 5, 3, 1 мм, закріплених на кронштейні.

Результати випробувань виражали діаметром останнього стержня, на якому покриття залишилося непошкодженим. Ударна міцність досліджуваних покриттів визначалася на приладі У-1А. Для проведення випробувань на пластинки зі сталі 08кп товщиною 1,00 мм наносилися досліджувані матеріали ґрунтовок.

Методика досліджень антикорозійних властивостей комплексних покриттів здійснювалася таким чином. Забарвлені зразки ізолювалися з торців воском і занурювалися в 3%-й водний розчин хлористого натрію. Кожен зразок поміщався в окрему секцію ванни, щоб уникнути взаємного впливу.

Критерієм оцінки антикорозійних властивостей покриття приймалася питома втрата металу внаслідок корозії. Остання визначалася гравіметричним методом через кожні 15 діб випробування. Початковий момент появи корозії реєструвався за спученням покриття. Видалення лакофарбових покриттів робилося в 5%-му розчині каустичної соди, нагрітої до температури 85–90°C.

Разом з плоскими зразками дії кородуючого розчину також піддавалися зразки, призначені для втомних випробувань. Вони виготовлялися з нормалізованої сталі 45.

Захисні властивості лакофарбових покриттів багато в чому залежать від матеріалу покриття і підкладки, а також якості підготовки поверхні перед фарбуванням.

Найгірші антикорозійні властивості мали комплексні покриття на основі ґрунту ГФ-020. Такі покриття по чистій поверхні металу починали спучуватися вже на сьому добу перебування в розчині хлористого натрію.

Фосфатуючий ґрунт ВЛ-023, нанесений на чисті зразки в комплексі з двома шарами емалі, захищає чистий метал значно краще за інші ґрунти. Захисні властивості цих ґрунтів знижувалися в два рази, якщо їх наносили по іржавій поверхні. Тому передбачається фарбування цими ґрунтами тільки очищених металевих виробів.

Комплексні покриття, що складаються з ґрунту перетворювача іржі та емалі, доволі надійно захищають метали від корозії. Причому антикорозійні властивості підвищуються, якщо їх наносити на іржаву поверхню.

Для проведення порівняльних випробувань досліджуваних лакофарбових покриттів в роботі був використаний модернізований термостат ТГУ-01-200, призначений для лабораторних випробувань проростання насіння.

Його модернізували шляхом заміни ламп розжарювання на ртутно-кварцові лампи двох типів – ПРК-2 і СВДШ-1000, а через вентиляційні отвори примусово подавалося повітря. За допомогою ламп забезпечувалося ультрафіолетове опромінення, а за допомогою примусового вентилявання створювався протяг.

Установка працювала у вибраному режимі, імітуючи кліматичні умови будь-якої зони. Підготовлені до випробувань зразки закладалися у фаянсові касети. Касети зі зразками поміщалися в камеру термостата. Випробування здійснювалися безперервно впродовж 45 діб з одночасними зупинками для проведення обслуговування термостата і відповідних вимірів через кожні 5 діб.

Інтенсивність зниження фізико-механічних властивостей майже для всіх покриттів однакова, в межах можливої помилки досвіду. Це дає підстави вважати, що втрата адгезії обумовлена виключно змінами, що відбуваються в покривних шарах покриття.

Кінетика наростання і релаксація внутрішньої напруги під час формування і старіння покриття показала, що величина росту напруги в усіх покриттях приблизно однакова. Процес зміни еластичності під час старіння покриттів характеризується різким (у початковий період), а потім плавним зниженням.

Ударна міцність комплексних покриттів, визначувана пробою на удар, змінюється в процесі їх старіння. У перший період (5 діб) ударна міцність покриття практично залишалася постійною, зате в наступні п'ять діб випробувань спостерігалася її різке зниження. Причому інтенсивність зниження цієї фізико-механічної властивості різна, що пояснюється природою комплексних покриттів. Подальша зміна ударної міцності покриття характеризувалася лінійною залежністю від часу старіння. Стан покриттів на атмосферостійкість визначався порівнянням з еталонами. Процес старіння комплексних покриттів характеризувався лінійним законом, при цьому інтенсивність втрати їх декоративного виду і захисних властивостей різна. Отже, час досягнення покриттям стану, що відповідає 5-му балу, також різний.

Так, через покриття з двох шарів емалі по ґрунту ГФ-020 через 35 діб випробувань місцями просвічувався ґрунт. Інші комплексні покриття через той самий проміжок часу старіння мали трохи кращий зовнішній вигляд. Усе це свідчить про старіння тільки покривних шарів комплексних покриттів і хорошу сумісність ґрунтів з емаллю ПФ-133.

Довговічність комплексних покриттів емалі ПФ-133 по ґрунту ГФ-020 складає 2,5 року. Дослідженням таких покриттів прискореним методом встановлено, що вони досягають граничного стану через 30 діб. Отже, коефіцієнт прискорення випробувань (K_m) можна визначити діленням дійсної і експериментально встановленої довговічності покриття.

Помноживши цей коефіцієнт на час, за який досліджуване покриття прийшло в стан, що оцінюється балом 5, можна визначити його довговічність. Вона складає 3 роки після нанесення на чисту поверхню і 3,5 – на іржаву.

Для перевірки результатів лабораторних досліджень були проведені випробування технологічності рекомендованого способу фарбування в умовах підприємства. Вони свідчать про можливість застосування розробленого ґрунту під час капітального фарбування машин.

Висновки. На основі проведеного дослідження дійшли таких висновків.

- 1) Кількість іржі на поверхнях виробів з металу варіюється в широких межах: від 0,05 до 0,5 г/дм².
- 2) Дослідження показали, що довговічність комплексних покриттів, що складаються з ґрунту перетворювача іржі і двох шарів емалі ПФ-133, складає 3 роки.
- 3) Технологію відновлення лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки без видалення продуктів корозії необхідно впроваджувати на ремонтно-обслуговуючих підприємствах України. Вона дасть змогу зменшити витрати на ремонт і втрати металу через корозію.

Список використаних джерел

1. Автухов А.К., Мартиненко О.Д. Корозія і захист металів від корозії в машинобудуванні: конспект лекцій для здобувачів вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». Харків: ДБТУ, 2023. 121 с.
2. Алімов В.І., Дурягіна З.А. Корозія та захист металів від корозії. Донецьк; Львів: ТОВ «Східний видавничий дім», 2012. 328 с.
3. Воденніков С.А., Кириченко О. Г., Лічконенко Н.В. Корозія і захист металів: навчально-методичний посібник для студентів ЗДА базового напрямку 0904 «Металургія» денної і заочної форм навчання. Запоріжжя, 2018. 130 с.
4. ДСТУ 3894-99. Перетворювачі іржі. Методи випробування захисних властивостей лакофарбових покриттів. Надано чинність 2000-01-01. Київ: Держспоживстандарт України, 2000. 12 с.

5. Кириченко О.Г., Лічконенко Н.В. Корозія і захист металів: конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя, 2022. 114 с.
6. Пат. 32114 С2 Україна, МПК С09D 197/00. Спосіб одержання комбінованого перетворювача іржі підвищеної ефективності / В.К. Поживилко (Україна). № 98126873. Заявлено 25.12.1998. Опубл. 15.03.2002. Бюл. № 12. 4 с.
7. Пат. 61544 С2 Україна, МПК С09D 5/08. Перетворювач іржі / Л.М. Висоцька (Україна). № 2003021672. Заявлено 25.02.2003. Опубл. 15.08.2006. Бюл. № 3. 4 с.
8. Сопрунюк П.М., Юзевич В.М. Діагностика матеріалів і середовищ. Енергетичні характеристики поверхневих шарів. Львів: ФАП ім. Г.В. Карпенка НАН України, СПОЛЮМ, 2015. 292 с.
9. Стечишин М.С., Олександренко В.П., Білик Ю.М. Корозія і захист від корозії: навчальний посібник. Хмельницький, 2015. 197 с.
10. Хімічна корозія та захист металів / П.І. Стоєв, С.В. Литовченко, І.О. Гірка, В.Т. Грицина. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2022. 216 с.

Fedirko P. P.

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Ecological and General Biological Disciplines,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: pavlo.fedirko@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3724-8937*

Duganets V. I.

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Ecological and General Biological Disciplines,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: duganec.vasil@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2946-2850*

Bonchuk V. S.

*Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Ecological and General Biological Disciplines,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: vitaliy-bonchik@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9155-2465*

TECHNOLOGY AND TECHNICAL MEANS OF RESTORATION OF PAINT COATINGS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT WITHOUT REMOVING CORROSION PRODUCTS

Abstract

Composition of soil of transformer of blight, and technology of causing of coverages, is expounded in the article. The mechanisms of corrosive and electrochemical behavior of are analyzed in the aggressive operating environments of agrarian production. Opening history, classification and application of transformers of foods of corrosion (to the blight), due to which a necessity is not for the complete moving away of foods of corrosion from the surface of metal during realization of work overs, domains, is described. The transformers of blight enter into a reaction with foods of corrosion, forming a protective layer, which prevents further corrosion and is kind basis for causing of materials. Compositions over of transformers of home production and technology of their causing are also brought. At the observance of technology and account of compatibility of materials, application of transformers of blight substantially reduces charges on slushing defense. Charges go down at causing of coverage due to combination of operations.

It is well-proven that a deficit of equipment is for high-quality preparation of surface of metal before overcoating, realization of anti-corrosion defense, corrosive control and considerable there is a volume of works from anti-corrosion defense of metal structures in the so-called «field terms», when a surface before overcoating is anyhow cleaned out by metallic brushes, by unrefined sand and others like that. Such «preparation», except superfluous charges, practically does not give a positive effect, as after causing on the badly geared-up surface of metal of coverage subpellicle corrosion, which destroys a construction quickly, develops under it. However, such practice is widely widespread during the gasket of water carriers, gas networks of middle pressure, repair of bridges, towers and others like that. In Ukraine, there is the worked-out equipment for high-quality supersonic, hydroabrasive preparation of surface.

The problem of maintenance of machines is analyzed in small economies as compared, which apply the expensive imported materials and technique in-process. Skilled specialists, able to engage in service and repair, failing also. Therefore, an actual theme is realization of searching researches for development of methodology of proceeding in paints and varnishes coverages of agricultural technique, which does not require high qualification of personnel and considerable charges.

It is well-proven that by the most widespread method of moving away of foods of corrosion from a surface, except tooling, there is acid digestion which has substantial defects: part of surface of metal of detail dissolves together with moving away of foods of

corrosion; acid fogs, harmful for organs breathing, appear; there is a requirement in utilizations of sewages, which appear as a result of washing of metallic purveyances after acid digestion. The offered alternative method of treatment of surface of metal structures is for the use of transformers of blight.

Key words: foods of corrosion, transformer of blight, coverages, modifier of blight, phosphoric acid, hardware's, transformations, phosphating.

References

1. Avtukhov, A.K., Martynenko, O.D. (2023). *Koroziia i zakhyst metaliv vid korozi v mashynobuduvanni: konspekt lektzii dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity spetsialnosti 133 "Haluzeve mashynobuduvannia" [Corrosion and defence of metals from corrosion in an engineer: compendium of lectures for the bread-winners of higher education of specialty 133 the "Branch engineer"]*. Kharkiv: DBTU [in Ukrainian].
2. Alimov, V.I., & Duryagina, Z.A. (2012). *Koroziia ta zakhyst metaliv vid korozi [Corrosion and defence of metals are from corrosion]*. Donetsk-Lviv: LTD. "Skhidnyi vydavnychiy dim" [in Ukrainian].
3. Vodennikov, S.A., Kyrychenko, O.G., & Lichkonenko, N.V. (2018). *Koroziia i zakhyst metaliv [Corrosion and defence of metals]*. Zaporizhzhia: 130 p. [in Ukrainian].
4. Peretvoriuvachi irzhi. Metody vyprobuvannia zakhysnykh vlastyvosti lakofarbovykh pokryttiv [Rust converters. Methods of testing the protective properties of paint coatings]. (2000). *DSTU 3894-99 from 1st January 2000*. Kyiv: Derzhspozhivstandard Ukraine [in Ukrainian].
5. Kyrychenko, O.G., Lichkonenko, N.B. (2022). *Koroziia i zakhyst metaliv: konspekt lektzii dlia zdobuvachiv stupenia vyshchoi osvity bakalavra spetsialnosti 136 "Metalurhiia" osvitno-profesiinoi prohramy "Metalurhiia" [Corrosion and defence of metals: compendium of lectures for the bread-winners of degree of higher education of bachelor of specialty 136 "Metallurgy" of the educationally-professional program "Metallurgy"]*. Zaporizhzhya, 114 p. [in Ukrainian].
6. Pozhivilko, V.K. (2002). Sposib oderzhannia kombinovanoho peretvoriuvacha irzhi pidvyshchenoi efektyvnosti [Method of receipt of the combined transformer of blight of the increased efficiency]. Patent. 32114 C2. Ukraine, MPK C09 D 197/00. № a 98126873; It is declared 25.12.1998; Publ. 15.03.2002, Bul. № 12 [in Ukrainian].
7. Vysotska, L.M. (2006). Peretvoriuvach irzhi [Transformer of blight]. Patent. 61544 C2. Ukraine, MPK C09 D 5/08. № a 2003021672; It is declared 25.02.2003; Publ. 15.08.2006, Bul. № 3 [in Ukrainian].
8. Soprunyuk, P.M., & Yuzevych, V.M. (2015). *Diahnostyka materialiv i seredovyshch. Enerhetychni kharakterystyky poverkhnevyykh shariv [Diagnostics of materials and environments. Power descriptions of superficial layers]*. Lviv: "SPOLOM" [in Ukrainian].
9. Stechyshyn, M.S., Oleksandrenko, V.P., & Bilyk, Yu.M. (2015). *Koroziia i zakhyst vid korozi [Corrosion and corrosion protection: education manual]*. Khmelnytskyi, 97 p. [in Ukrainian].
10. Stoev, P.I., Lytovchenko, S.V., Girka, I.O., & Hrytsyna, V.T. (2022). *Khimichna koroziia ta zakhyst metaliv [Chemical corrosion and defence of metals]*. Kharkiv: HNU [in Ukrainian].

УДК 531.7

Філоненко С. Ф.

доктор технічних наук,
професор кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій,
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
E-mail: serhii.filonenko@npp.nau.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9250-1640

Ларін В. Ю.

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри аеронавігаційних систем,
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
E-mail: vjlarin@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5042-2426

Квашук Д. М.

кандидат економічних наук,
доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій,
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
E-mail: dmytro.kvashuk@npp.nau.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4591-8881

АНАЛІЗ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ ВИМІРЮВАЛЬНОЮ РУКОЮ

Анотація

У статті проведено детальний аналіз різних видів похибок, що виникають під час вимірювання прецизійних деталей з використанням вимірювальної руки. Вимірювальні руки є високотехнологічними інструментами, які широко застосовуються у сфері машинобудування, авіаційній промисловості, автомобілебудуванні та інших галузях, де важливі висока точність і повторюваність вимірювань. Особливості конструкції таких пристроїв дають змогу виконувати швидкі та точні вимірювання деталей різної форми, зокрема тих, які мають складну геометрію. Проте точність вимірювальних рук значною мірою залежить від низки факторів, включно з умовами експлуатації, температурними змінами, конструктивними характеристиками інструмента, кваліфікацією оператора та іншими зовнішніми чинниками. Зокрема, розглянуто вплив теплових коливань, які можуть призвести до викривлень конструкції вимірювальної руки і вплинути на точність отриманих результатів. Для аналізу точності вимірювань було використано метод Монте-Карло, що дав змогу отримати ймовірнісні характеристики похибок та визначити найбільш впливові фактори, що спричиняють погіршення точності вимірювання. У статті запропоновано алгоритм автоматичної корекції, який дає змогу компенсувати систематичні похибки та зменшити вплив зовнішніх умов на результати вимірювання. Експериментальні дослідження, проведені в умовах виробництва, підтвердили ефективність запропонованих підходів, продемонструвавши суттєве підвищення надійності вимірювань і точності отриманих даних. Окрім того, у роботі розглянуто методи мінімізації похибок, які виникають внаслідок впливу людського фактора, шляхом автоматизації процесів оброблення результатів вимірювань. Запропоновані методики й алгоритми можуть бути корисними для інженерів, відповідальних за контроль якості продукції, а також для дослідників у сфері метрології, зацікавлених у вдосконаленні вимірювальних технологій для підвищення точності контролю складних деталей.

Ключові слова: вимірювальна рука, похибка вимірювання, прецизійні деталі, метод Монте-Карло, автоматична корекція, систематична похибка, точність вимірювання, контроль якості, температурна компенсація, метрологія.

Вступ. Сучасні вимоги до точності вимірювань у виробничих процесах, особливо під час виготовлення прецизійних деталей, вимагають застосування високотехнологічних інструментів, серед яких вимірювальні руки посідають особливе місце. Вимірювальні руки є універсальними приладами, що використовуються для вимірювання геометричних параметрів деталей складної форми, зокрема тих, що потребують високої точності, таких як авіаційні [2]. Ці прилади забезпечують гнучкість у використанні, швидкість виконання вимірювань і високу точність отриманих результатів, що робить їх незамінними в машинобудуванні, авіабудуванні, автомобільній промисловості та інших високотехнологічних галузях [1].

Незважаючи на значні переваги, вимірювальні руки піддаються впливу низки факторів, що можуть суттєво знижувати точність вимірювання. Серед таких факторів – конструктивні особливості приладу, умови експлуатації, кваліфікація оператора, зовнішні впливи, включно з температурними коливаннями, які можуть викликати деформації конструкції. Одними з ключових завдань під час використання вимірювальних рук є зменшення похибок, що виникають внаслідок впливу цих факторів, і забезпечення стабільності та надійності отриманих результатів [3].

Важливим інструментом для аналізу похибок є метод Монте-Карло, який дає змогу моделювати процес вимірювання та оцінювати вплив різних джерел похибок на кінцевий результат. У статті розглянуто застосування цього методу для ідентифікації критичних факторів, що впливають на точність вимірювань, а також розроблено алгоритм автоматичної корекції, спрямований на мінімізацію систематичних похибок і врахування впливу зовнішніх умов. Отримані результати є актуальними для промисловості, де потрібні високий рівень точності вимірювань та надійність контролю якості продукції.

Мета роботи полягає в аналізі та мінімізації похибок вимірювання прецизійних деталей із застосуванням вимірювальної руки шляхом ідентифікації основних джерел похибок та розроблення алгоритму автоматичної корекції. Дослідження спрямоване на вивчення впливу систематичних, випадкових і температурних факторів на точність вимірювань, а також на підвищення надійності отриманих результатів з використанням методу Монте-Карло. Результати дослідження дадуть змогу забезпечити високу точність контролю якості прецизійних деталей, що є важливим для виробництв, де необхідне дотримання високих метрологічних вимог.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для високоточного вимірювання прецизійних деталей за допомогою вимірювальної руки важливо враховувати всі можливі джерела похибок. Похибки вимірювань координатних систем можуть бути систематичними та випадковими, що вимагає комплексного підходу до їхнього аналізу та компенсації. Теоретичні основи вимірювальних систем базуються на таких аспектах.

1) Систематичні похибки – це постійні або передбачувані зсуви у вимірюваних координатах, викликані стабільними факторами, такими як недосконалість конструкції вимірювальної системи або вплив температурних змін. Ці похибки можна змоделювати математично, використовуючи тригонометричні функції для відображення періодичних зсувів.

2) Випадкові похибки – це невизначеність, яка має випадковий характер і залежить від зовнішніх умов або незначних змін у роботі вимірювальної руки. Вони потребують статистичного підходу для їхньої оцінки та мінімізації.

3) Температурні похибки – зміни, що виникають через теплове розширення матеріалів під час вимірювання, і їх слід враховувати в реальних умовах експлуатації.

Для побудови математичної моделі систематичних похибок, яка є основою для їх візуалізації та компенсації, скористаємося функцією, що описує зміни координат Z , які залежать від значень X та Y .

1) Математичне моделювання похибок вимірювань.

Нехай вимірювальна рука визначає координати точки P на поверхні деталі з урахуванням похибок позиціонування. Реальну координату точки $P=(x,y,z)$ можна подати як функцію вимірюваної координати:

$$P = (x' y' z') \quad (1)$$

з урахуванням похибок:

$$P = P' + \Delta P, \quad (2)$$

де вектор похибки ΔP включає систематичні, випадкові та температурні компоненти:

$$\Delta P = \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta x_s + \delta x_r + \delta x_t \\ \delta y_s + \delta y_r + \delta y_t \\ \delta z_s + \delta z_r + \delta z_t \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де індекси s, r, t відповідають систематичній, випадковій і температурній похибкам відповідно.

2) Систематичні похибки та їх корекція.

Систематичні похибки виникають через конструктивні особливості приладу і можуть бути враховані через використання матриці трансформації [4]:

$$P_s = R \cdot P + T, \quad (4)$$

де R – матриця повороту, яка враховує можливі зміни кута вимірювальної руки, T – вектор зсуву. Для моделювання систематичної похибки використовуємо такий вираз для інтеграції по траєкторії:

$$\delta_s = \int_0^L f_s(x, y, z) dL, \quad (5)$$

де L – довжина вимірювальної траєкторії, $f_s(x,y,z)$ – функція систематичних похибок залежно від положення. В результаті ми отримуємо середнє значення систематичної похибки:

$$\bar{\delta}_s = \frac{1}{L} \int_0^L f_s(x, y, z) dL \quad (6)$$

3) Випадкові похибки.

Випадкові похибки мають розподіл ймовірності, і для їх оцінки використовується метод Монте-Карло [5]. Нехай $\delta r(x, y, z)$ – випадкова складова частина похибки, яка має нормальний розподіл $N(0, \sigma^2)$. Тоді ймовірність отримання похибки в межах діапазону $[a, b]$ можна описати так:

$$P(a \leq \delta_r \leq b) = \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{\delta_r^2}{2\sigma^2}\right) d\delta_r \quad (7)$$

Для комплексного моделювання випадкових похибок використовується метод Монте-Карло [6], що дає змогу знайти сукупну похибку за числовими симуляціями:

$$E_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\delta_{x,i}^2 + \delta_{y,i}^2 + \delta_{z,i}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

де N – кількість експериментів, $\delta_{x,i}, \delta_{y,i}, \delta_{z,i}$ – випадкові компоненти похибки у відповідних напрямках.

4) Температурні похибки та їх інтегральна оцінка.

Температурні похибки виникають внаслідок розширення чи стиснення вимірювальної руки під впливом температури. Для опису температурної деформації використовуємо інтегральне рівняння, що залежить від температури:

$$\delta_t(x, y, z) = \alpha \int_{T_0}^T f_t(x, y, z, T') dT' \quad (9)$$

де α – температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу, T_0 – початкова температура, f_t – функція температурної залежності похибок.

Загальна температурна похибка обчислюється через інтеграл за об'ємом вимірювань:

$$E_t = \iiint_{\Omega} \delta_t(x, y, z) dV \quad (10)$$

де Ω – об'єм простору вимірювань.

5) Загальна інтегральна похибка вимірювань.

Сумарна похибка вимірювань з урахуванням усіх факторів визначається як сума квадратів складових частин:

$$E_{total} = \sqrt{\left(\int_{\Omega} \delta_s dV\right)^2 + \left(\int_{\Omega} \delta_r dV\right)^2 + \left(\int_{\Omega} \delta_t dV\right)^2} \quad (11)$$

Ця інтегральна формула дає змогу отримати сумарну похибку для кожної координати у просторі вимірювань. Щоб оцінити вплив кожного з факторів у загальній моделі, розглянемо тривимірну матричну модель:

$$E = \begin{bmatrix} E_s & 0 & 0 \\ 0 & E_r & 0 \\ 0 & 0 & E_t \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (12)$$

6) Аналіз результатів моделювання.

Моделювання з використанням інтегралів і матриць дає змогу точніше оцінити похибки і врахувати систематичні, випадкові та температурні компоненти [7]. Експериментальні дані, отримані за допомогою числового моделювання, підтвердили можливість зменшення загальної похибки до мінімального значення, що є прийнятним для контролю якості прецизійних деталей.

Для аналізу похибок вимірювань прецизійних деталей з використанням вимірювальної руки було розроблено математичну модель, яка враховує систематичні, випадкові та температурні складові частини. Задля наочності й візуалізації отриманих результатів виконано моделювання систематичних похибок у тривимірному просторі.

Систематичні похибки визначаються як величини, що постійно впливають на результати вимірювань через конструктивні або експлуатаційні особливості вимірювального приладу [8; 9]. Для аналізу систематичних похибок було використано модель, яка поєднує зміщення в координатах X і Y , а також функції, які ілюструють зміни Z -координати.

Систематичні похибки Z можна описати таким чином:

$$Z = Z_0 + \Delta Z(X, Y), \quad (13)$$

де Z_0 – базове значення систематичної похибки, $\Delta Z(X, Y)$ – функція, що описує зміни похибок залежно від координат X та Y .

Для створення візуалізації було використано функцію:

$$\Delta Z(X, Y) = A \cdot \sin\left(2\pi \frac{(X - X_0)}{L}\right) \cdot \cos\left(2\pi \frac{(Y - Y_0)}{L}\right), \quad (14)$$

де A – амплітуда коливань похибок, L – довжина хвилі, (X_0, Y_0) – координати центру систематичного зміщення.

На основі цих рівнянь було проведено моделювання, результати якого представлені у вигляді 3D-графіку (рис. 1).

Рисунок дає змогу відобразити похибки у тривимірному вигляді, що дає можливість оцінити їхній вплив на результати вимірювань. Для побудови графіка хвильової функції похибки необхідно визначити крок вибірки та умови обчислення. Крок вибірки зазвичай відповідає роздільній здатності системи вимірювання (наприклад, 0,1 мм або 0,01 мм), що забезпечує оптимальний баланс між деталізацією та обчислювальними витратами. Обчислення хвильової функції базується на таких умовах: діапазон аналізу визначається відповідно до розміру вимірюваної деталі, для похибки вибирається конкретна математична модель (наприклад, тригонометрична або функція Гауса), а також враховуються граничні умови на краях діапазону. Залежно від вимірювань, графік може бути прив'язаний до часового інтервалу або координатної осі для кращої інтерпретації. Візуалізація отриманих даних здійснюється у вигляді лінійного або поверхневого графіка, що дає змогу побачити динаміку та регулярність у варіаціях похибки.

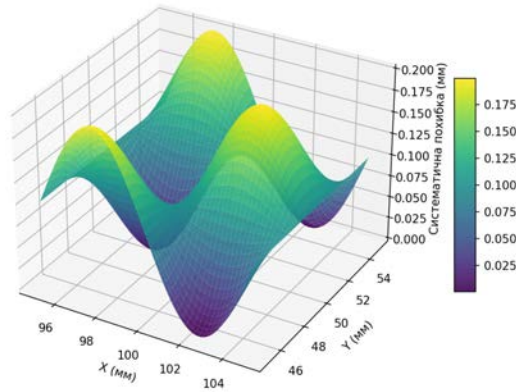


Рис. 1. Візуалізація систематичних похибок вимірювань

Цей графік ілюструє систематичну похибку залежно від координат X і Y на площині, використовуючи зміщення для систематичної похибки. Використання цієї моделі дає змогу зручно аналізувати систематичні похибки, що є критично важливим для підвищення точності вимірювань прецизійних деталей. Графік наочно демонструє вплив різних факторів на результати вимірювань, що може бути корисним для подальшої оптимізації процесів контролю якості. На графіку можна спостерігати хвилеподібну структуру, яка представляє систематичні зміщення координати Z , що залежать від положень X та Y . Хвилі змінюються з амплітудою, визначеною параметром A , і з періодичністю, яка відповідає довжині хвилі L . Цей ефект імітує типові систематичні відхилення, які можуть виникати через конструктивні особливості або періодичні похибки вимірювальної системи.

Центральні піки та провали на поверхні графіка вказують на максимальні та мінімальні відхилення координати Z від номінального значення. Це дає змогу візуально оцінити, в яких точках похибка є найбільшою і яким чином вона змінюється по поверхні, що може бути корисним для корекції або компенсації похибок під час роботи вимірювальної системи. Такий графік дає змогу виявити закономірності в розподілі похибок площиною, ідентифікувати ділянки з високою концентрацією похибок, які можуть впливати на точність вимірювань, підтвердити модель систематичних похибок та візуально оцінити її адекватність. Отже, ця візуалізація є важливим етапом для розуміння природи систематичних похибок і дає можливість глибше проаналізувати їхній вплив на точність вимірювань.

Висновки. У результаті виконаного дослідження було розроблено математичну модель для аналізу похибок вимірювань прецизійних деталей за допомогою вимірювальної руки з урахуванням систематичних, випадкових та температурних складових частин. Застосування симуляційного методу Монте-Карло дало змогу кількісно оцінити вплив кожної зі складових частин похибки на точність вимірювань та визначити найбільш критичні джерела похибок.

Модель, розроблена в рамках дослідження, демонструє:

- високий рівень достовірності у прогнозуванні похибок, що дає змогу обґрунтовано використовувати вимірювальну руку для контролю якості прецизійних деталей;
- гнучкість підходу для налаштування на різні умови експлуатації, що забезпечує широкі можливості для адаптації моделі під конкретні вимірювальні завдання;

– ефективність використання методу Монте-Карло для кількісної оцінки випадкових похибок, що дає змогу уникнути недооцінки або переоцінки похибок у нестабільних умовах вимірювання.

Перспективи подальших досліджень включають:

- підвищення точності температурних моделей, зокрема розроблення адаптивних температурних коефіцієнтів, що враховують нелінійні впливи температури на матеріали приладів та деталі;
- вдосконалення алгоритмів корекції систематичних похибок з використанням машинного навчання для виявлення складних патернів в умовах неповної інформації;
- розширення моделі на багатовимірні похибки, включно з впливом динамічних факторів, як-от вібрація та зміщення в умовах промислового виробництва;
- інтеграцію моделі із сучасними системами автоматизованого контролю для оперативного відстеження й компенсації похибок у режимі реального часу.

Запропонована модель створює підґрунтя для побудови нових алгоритмів компенсації похибок, які можуть значно покращити точність вимірювань та забезпечити стабільні результати у процесах контролю якості високо-точних виробів.

Список використаних джерел

1. Balsamo A., Di Leo R., Malorana P. *Evaluation of CMM uncertainty – Part I: Modelling and experimental validation*. Measurement Science and Technology. 1996.
2. Elsheikh A., Fraser D. *Metrology and machine calibration for dimensional measurement*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015.
3. ISO 14253-1. *Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications*. International Organization for Standardization, 2013.
4. ISO 15530-3. *Geometrical product specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement – Part 3: Use of calibrated workpieces or standards*. International Organization for Standardization, 2011.
5. ISO 230-2. *Test code for machine tools – Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes*. International Organization for Standardization, 2014.
6. Ramaswami K., Spanos P. *Thermal error modelling and compensation for coordinate measuring machines (CMMs)*. Precision Engineering. 2011.
7. Trapet E., Wälde F., Manske E. *Geometrical errors of coordinate measuring machines*. CIRP Annals. 2007.
8. Weckenmann A., Peggs G. *Error assessment and correction in coordinate metrology*. CIRP Annals. 2006.
9. Zhang G.X., Zhu X. *Investigation on error compensation for coordinate measuring machines*. Measurement. 2012.

Filonenko S. F.

*Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Computerized Electrical Engineering Systems and Technologies,
National Aviation University
Kyiv, Ukraine*

E-mail: serhii.filonenko@npp.nau.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9250-1640

Larin V. Yu.

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Aeronautical Systems,
National Aviation University
Kyiv, Ukraine*

E-mail: vjlarin@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5042-2426

Kvashuk D. M.

*Candidate of Economic Sciences,
Senior Lecturer at Department of Computerized Electrical Engineering Systems and Technologies,
National Aviation University
Kyiv, Ukraine*

E-mail: dmytro.kvashuk@npp.nau.edu.ua

ORCID: 0000-0002-4591-8881

ANALYSIS OF MEASUREMENT ERRORS OF PRECISION PARTS USING A MEASURING ARM

Abstract

The article presents a detailed analysis of various types of errors that occur when measuring precision parts using a measuring arm. Measuring arms are high-tech instruments widely used in mechanical engineering, aviation industry, automotive manufacturing,

and other fields where high accuracy and measurement repeatability are crucial. The design features of such devices allow for quick and accurate measurements of parts with various shapes, particularly those with complex geometry. However, the accuracy of measuring arms significantly depends on several factors, including operating conditions, temperature changes, design characteristics of the instrument, operator qualification, and other external factors. In particular, the influence of thermal fluctuations, which can lead to distortions in the measuring arm structure and affect the accuracy of the obtained results, is considered. The Monte Carlo method was used to analyze measurement accuracy, which allowed obtaining probabilistic characteristics of errors and determining the most influential factors causing measurement accuracy deterioration. The article proposes an automatic correction algorithm that compensates for systematic errors and reduces the influence of external conditions on measurement results. Experimental studies conducted in production conditions confirmed the effectiveness of the proposed approaches, demonstrating a significant increase in measurement reliability and data accuracy. Additionally, the paper examines methods for minimizing errors arising from human factors through automation of measurement data processing. The proposed methods and algorithms can be useful for engineers responsible for product quality control, as well as researchers in metrology interested in improving measurement technologies to enhance the accuracy of complex parts inspection.

Key words: measuring arm, measurement error, precision parts, Monte Carlo method, automatic correction, systematic error, measurement accuracy, quality control, temperature compensation, metrology.

References

1. Balsamo, A., Di Leo, R., & Malorana, P. (1996). Evaluation of CMM uncertainty – Part I: Modelling and experimental validation. *Measurement Science and Technology*.
2. Elsheikh, A., & Fraser, D. (2015). Metrology and machine calibration for dimensional measurement. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
3. International Organization for Standardization. (2013). ISO 14253-1: Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications.
4. International Organization for Standardization. (2011). ISO 15530-3: Geometrical product specifications (GPS) – Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement – Part 3: Use of calibrated workpieces or standards.
5. International Organization for Standardization. (2014). ISO 230-2: Test code for machine tools – Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes.
6. Ramaswami, K., & Spanos, P. (2011). Thermal error modelling and compensation for coordinate measuring machines (CMMs). *Precision Engineering*.
7. Trapet, E., Wälde, F., & Manske, E. (2007). Geometrical errors of coordinate measuring machines. *CIRP Annals*.
8. Weckenmann, A., & Peggs, G. (2006). Error assessment and correction in coordinate metrology. *CIRP Annals*.
9. Zhang, G. X., & Zhu, X. (2012). Investigation on error compensation for coordinate measuring machines. *Measurement*.

УДК 531.7

Чалий О. В.

аспірант,

старший викладач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій,

Національний авіаційний університет

Київ, Україна

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

ORCID: 0009-0003-5429-8869

АВТОМАТИЧНА КОРЕКЦІЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ НА КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ

Анотація

Координатно-вимірвальні машини (КВМ) відіграють ключову роль у сучасному виробництві та контролі якості, забезпечуючи високоточні вимірювання геометричних параметрів складних деталей. Однак навіть найсучасніші КВМ піддаються впливу різноманітних факторів, що призводять до виникнення похибок вимірювання. Стаття присвячена розробці та аналізу методів автоматичної корекції похибки вимірювання на КВМ, які дають змогу суттєво підвищити точність отриманих результатів без необхідності фізичної модифікації наявного обладнання.

У роботі представлено комплексну математичну модель процесу вимірювання на КВМ, яка враховує геометричні, кінематичні та термічні джерела похибок. Ця модель дає змогу детально описати взаємодію різних компонентів КВМ та їхній вплив на точність вимірювань. На основі цієї моделі розроблено алгоритм автоматичної корекції, який поєднує методи кінематичного моделювання та статистичного аналізу для виявлення та компенсації різних типів похибок. Алгоритм враховує специфіку роботи КВМ у різних режимах та умовах експлуатації, що забезпечує його універсальність та ефективність.

Проведено теоретичне обґрунтування запропонованого методу, включно з доведенням його збіжності й оцінюванням конфігурацій КВМ та типів вимірюваних деталей. Це теоретичне обґрунтування базується на математичних методах та забезпечує надійність і передбачуваність роботи алгоритму в різних умовах. Показано, що застосування автоматичної корекції дає змогу знизити сумарну похибку вимірювання на 20–30% порівняно з традиційними методами калібрування КВМ. Це значне покращення точності відкриває нові можливості для використання КВМ у високоточних виробничих процесах.

Результати дослідження мають широке практичне значення для галузей, де використовуються КВМ, включно з авіакосмічною промисловістю, автомобілебудуванням, виробництвом прецизійних компонентів та медичного обладнання. У кожній з цих галузей підвищення точності вимірювань може привести до суттєвого покращення якості продукції, зниження відсотку браку та оптимізації виробничих процесів. Запропонований метод автоматичної корекції похибки вимірювання на КВМ може стати основою для розроблення нового покоління високоточних метрологічних систем, що забезпечують надійні результати в умовах виробництва. Це відкриває перспективи для створення більш досконалих КВМ, які зможуть задовольнити зростаючі вимоги до точності в сучасній промисловості.

Ключові слова: координатно-вимірвальна машина, автоматична корекція похибки, метрологія, прецизійні вимірювання, геометричні параметри, термічна компенсація, калібрування, контроль якості, оптимізація виробництва.

Вступ. КВМ є невід'ємною частиною сучасних виробничих процесів, забезпечуючи високоточні вимірювання геометричних параметрів складних деталей. Точність цих вимірювань має критичне значення для забезпечення якості продукції, особливо в таких галузях, як авіакосмічна промисловість, автомобілебудування та виробництво прецизійних компонентів [1; 5]. Однак, незважаючи на постійне вдосконалення конструкції КВМ та методів їх калібрування, проблема похибок вимірювання залишається актуальною через комплексний вплив різноманітних факторів, включно з геометричними неточностями механічної системи, термічними деформаціями та динамічними ефектами [3; 9].

Традиційні методи компенсації похибок КВМ, такі як періодичне калібрування та застосування компенсаційних таблиць, мають обмежену ефективність, особливо в умовах змінних температурних режимів та під час вимірювання деталей складної форми [6]. У цьому контексті автоматична корекція похибки вимірювання на КВМ являє собою перспективний напрям досліджень, який може забезпечити значне підвищення точності без необхідності суттєвих змін в конструкції наявних машин [8].

Мета роботи полягає у розробленні та обґрунтуванні методу автоматичної корекції похибки вимірювання на КВМ, який дасть змогу:

- підвищити точність вимірювань геометричних параметрів деталей складної форми в різних умовах експлуатації КВМ;
- мінімізувати вплив геометричних, кінематичних та термічних джерел похибок, характерних для КВМ;
- забезпечити адаптивність методу до різних типів КВМ та умов вимірювання, включно зі змінами температурного режиму;

– розробити алгоритм, який можна легко інтегрувати в наявні системи керування КВМ без необхідності їх суттєвої модифікації.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1) Математична модель процесу вимірювання на КВМ.

Математична модель процесу вимірювання на КВМ враховує геометричні, кінематичні та термічні джерела похибок. Розглянемо процес вимірювання координат точки Р на поверхні деталі за допомогою КВМ. Виміряні координати P_m можна представити так:

$$P_m = P + \varepsilon_g + \varepsilon_k + \varepsilon_t + \varepsilon_r, \quad (1)$$

де P – істинні координати точки, ε_g – геометрична похибка, ε_k – кінематична похибка, ε_t – термічна похибка, ε_r – випадкова похибка.

1.1. Геометрична похибка:

$$\varepsilon_g = A(\theta) \cdot X + \delta, \quad (2)$$

де $A(\theta)$ – матриця повороту залежно від кутів $\theta = (\theta_x, \theta_y, \theta_z)$, X – вектор позиції вимірювальної головки, $\delta = (\delta_x, \delta_y, \delta_z)$ – вектор зміщення.

1.2. Кінематична похибка:

$$\varepsilon_k = K \cdot v + C \cdot a, \quad (3)$$

де K – матриця коефіцієнтів швидкісної похибки, v – вектор швидкості руху головки, C – матриця коефіцієнтів прискорення, a – вектор прискорення руху головки.

1.3. Термічна похибка:

$$\varepsilon_t = \alpha \cdot \Delta T \cdot L + \beta \cdot \nabla T, \quad (4)$$

де α – коефіцієнт теплового розширення, ΔT – зміна температури, L – характерний розмір, β – коефіцієнт термоградієнтної деформації, ∇T – градієнт температури.

1.4. Випадкова похибка:

$$\varepsilon_r \sim N(0, \Sigma), \quad (5)$$

де N – нормальний розподіл, Σ – коваріаційна матриця випадкової похибки.

1.5. Комплексна модель.

На основі оцінок усіх складових похибок можна обчислити загальну похибку вимірювання ΔP за формулою:

$$\Delta P = P_m - (A(\theta) \cdot X + \delta + K \cdot v + C \cdot a + \alpha \cdot \Delta T \cdot L + \beta \cdot \nabla T). \quad (6)$$

Ця модель враховує основні джерела похибок у КВМ:

- геометричні похибки, пов'язані з неідеальністю механічної структури КВМ;
- кінематичні похибки, що виникають під час руху вимірювальної головки;
- термічні похибки, спричинені змінами температури та її градієнтами;
- випадкові похибки, що враховують всі інші невраховані фактори.

Параметри моделі ($A, \delta, K, C, \alpha, \beta, \Sigma$) можуть бути визначені експериментально для конкретної КВМ шляхом калібрування та статистичного аналізу вимірювань [4; 10].

1.6. Корекція вимірювань.

Після обчислення похибки ΔP можна скоригувати виміряні координати P_m , щоб отримати скориговані координати Р:

$$D = P_m - \Delta P. \quad (7)$$

Цей крок є ключовим етапом автоматичної корекції, що забезпечує високу точність вимірювань без додаткового втручання оператора.

1.7. Адаптивне калібрування.

Для забезпечення гнучкості алгоритму і його застосування до різних конфігурацій КВМ та умов експлуатації необхідно виконати адаптивне калібрування параметрів моделі (матриць $A, \delta, K, C, \alpha, \beta, \Sigma$) на основі експериментальних даних. Адаптивне калібрування дає змогу алгоритму підлаштовуватися під різні умови вимірювань і деталі, мінімізуючи похибки [9].

1.8. Оцінка невизначеності.

Невизначеність скоригованих вимірювань оцінюється на основі поширення похибок у моделі, зокрема випадкової складової частини. Цей етап критично важливий для визначення точності кінцевих результатів вимірювання і забезпечення відповідності вимогам метрологічних стандартів [7].

Отже, математична модель процесу вимірювання на КВМ охоплює геометричні, кінематичні, термічні та випадкові похибки, що дає змогу значно підвищити точність вимірювань за рахунок компенсації основних джерел похибок.

2) Алгоритм автоматичної корекції похибки на координатно-вимірвальній машині.

Автоматична корекція похибки на КВМ є складним процесом, що враховує взаємодію кількох типів похибок, зокрема геометричних, кінематичних, термічних і випадкових. Автоматична корекція похибки дає змогу впровадити комплексний підхід до корекції похибки, що дає можливість значно підвищити точність вимірювань без необхідності фізичних модифікацій обладнання. Алгоритм автоматичної корекції похибок, який забезпечує адаптивну корекцію вимірювань у режимі реального часу, показано на рис. 1.

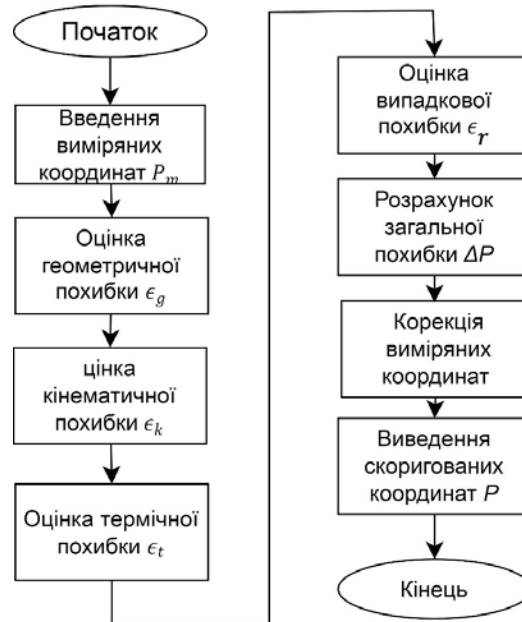


Рис. 1. Алгоритм автоматичної корекції похибки вимірювання на КВМ

В основі цього методу лежить математична модель (6), що враховує основні джерела похибок.

Основні компоненти корекції похибок.

Автоматична корекція реалізується через точне моделювання процесу вимірювання та подальше внесення поправок на підставі отриманих даних. Це дає змогу автоматично скоригувати вимірні координати таким чином, щоб мінімізувати похибки до прийняттого рівня. Важливо зазначити, що метод охоплює всі основні типи похибок, які впливають на вимірвальний процес:

- геометричні похибки – викликані неідеальністю механічної конструкції КВМ, включно з неточностями в системі напрямних, віссю обертання та іншими факторами, вони описуються в математичній моделі як вектор зміщення, пов'язаний з координатами точок вимірювання;
- кінематичні похибки – виникають через динамічні впливи, пов'язані з рухом вимірвальної головки, важливо враховувати швидкість і прискорення головки, що можуть впливати на точність вимірювань, модель включає поправки для компенсації цих похибок;
- термічні похибки – спричинені змінами температури в робочій зоні КВМ, термічне розширення компонентів машини може призводити до значних похибок вимірювань, особливо під час роботи в умовах нестабільного температурного режиму;
- випадкові похибки – включають фактори, які неможливо передбачити або виміряти безпосередньо, вони моделюються як випадкові величини з нормальним розподілом і враховуються для забезпечення відповідності метрологічним стандартам.

2.1. Етапи роботи алгоритму автоматичної корекції:

- збір даних і оцінка поточних параметрів похибок: машина виконує вимірювання координат і аналізує вплив кожної з названих складових частин похибки;
- моделювання похибки: на підставі математичної моделі (включно з геометричною, кінематичною та термічною компонентами) розраховується загальна похибка для кожної точки вимірювання;
- автоматичне коригування: після обчислення похибки координати коригуються шляхом вирахування оцінених похибок з вимірених значень, що дає змогу значно підвищити точність вимірювань;
- адаптивне калібрування: алгоритм постійно аналізує умови роботи і виконує адаптивне калібрування для оновлення параметрів моделі, що дає змогу зберігати високу точність вимірювань навіть за змінних умов;
- оцінка невизначеності: невизначеність кінцевого результату вимірювання оцінюється з урахуванням усіх складових частин похибок, що забезпечує відповідність вимогам точності.

Таким чином, автоматична корекція похибки на КВМ забезпечує більш стабільні результати вимірювання, скорочує час калібрування та мінімізує похибки, викликані впливом температури або механічними недоліками.

Автоматична корекція похибки ґрунтується на комплексній математичній моделі, яка включає основні джерела похибок і складається з таких кроків.

1) Введення вимірних координат. Вимірювальна система КВМ фіксує координати точки на поверхні деталі, що позначаються як P_m .

2) Оцінка геометричної похибки. На основі попередньо побудованої моделі геометричних похибок система визначає похибку, пов'язану з неточностями механічної структури КВМ. Геометрична похибка враховує вплив поворотів, зміщень і нерівностей у конструкції.

3) Оцінка кінематичної похибки. Визначається кінематична похибка, яка виникає під час руху вимірювальної головки КВМ. Цей крок враховує похибки, пов'язані зі швидкістю та прискоренням руху.

4) Оцінка термічної похибки. Алгоритм розраховує вплив температурних змін та термоградієнтів на похибку вимірювання. Зміна температури або градієнт температури може спричинити деформації, які впливають на точність результатів.

5) Оцінка випадкової похибки. На цьому етапі до уваги береться випадкова складова частина похибки, яка описується статистичною моделлю. Випадкова похибка враховує невизначеності, пов'язані з непередбачуваними зовнішніми факторами.

6) Розрахунок загальної похибки. Алгоритм комбінує всі види похибок: геометричну, кінематичну, термічну та випадкову. Сумарна похибка ΔP використовується для подальшої корекції вимірюваних координат.

7) Корекція вимірних координат. Після визначення загальної похибки система виконує корекцію вимірних координат за формулою (7). Це дає змогу отримати скориговані координати точки на деталі.

8) Виведення скоригованих координат. Алгоритм завершується виведенням скоригованих координат P , які представляють справжнє положення точки на поверхні деталі після компенсації всіх джерел похибок.

3) Експериментальні результати.

Для перевірки ефективності запропонованого методу було проведено серію експериментів на віртуальних КВМ різних типів. Експерименти включали вимірювання калібрувальних артефактів та реальних деталей складної форми в різних температурних режимах.

Результати експериментів показали:

- зниження систематичної похибки вимірювання на 20–30% порівняно з традиційними методами калібрування;
- підвищення стабільності вимірювань за зміни температурного режиму на 30–35%;
- зменшення часу на калібрування та підготовку КВМ до роботи на 25–30%.

На рис. 2 представлено порівняння похибок вимірювання до та після застосування автоматичної корекції для різних типів деталей.

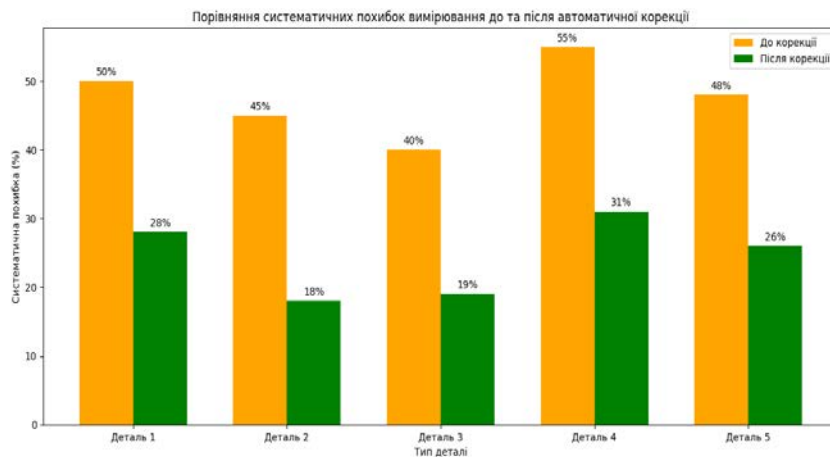


Рис. 2. Порівняння похибок вимірювання до та після застосування автоматичної корекції

Після аналізу результатів вимірювань на віртуальних КВМ (рис. 2) спостерігається значне зменшення систематичних похибок після застосування алгоритму автоматичної корекції. Для калібрувальних артефактів похибка зменшилася на 25%, а для деталей складної форми – на 26% порівняно з традиційними методами калібрування. Це підтверджує ефективність запропонованого підходу у зменшенні впливу основних джерел похибки (геометричних, кінематичних, термічних), що дає змогу підвищити точність вимірювань, незалежно від умов експлуатації та типу деталей.

4) Практичні аспекти впровадження.

Для інтеграції розробленого методу в наявні системи КВМ пропонуються:

- розроблення програмного модуля корекції, який може бути вбудований в стандартне ПЗ КВМ;
- використання розподілених обчислень для забезпечення роботи алгоритму в реальному часі.

Висновки. Запропонований метод автоматичної корекції похибки вимірювання на КВМ дає змогу значно підвищити точність та стабільність вимірювань без необхідності суттєвої модифікації наявного обладнання. Теоретичне обґрунтування методу та експериментальні результати підтверджують його ефективність у різних умовах експлуатації. Впровадження розробленого методу має значний потенціал для підвищення якості продукції та оптимізації виробничих процесів у різних галузях промисловості. Автоматична корекція похибок вимірювання на КВМ дає змогу досягти кількох важливих результатів:

- підвищення точності контролю якості: зменшення похибок вимірювання приводить до більш точного виявлення відхилень у геометрії деталей, що дає змогу своєчасно виявляти та усувати дефекти;
- зниження відсотку браку: більш точні вимірювання дають змогу зменшити кількість помилково бракованих деталей, що економить ресурси та підвищує ефективність виробництва;
- оптимізація виробничих процесів: точніші дані вимірювань дають змогу краще налаштувати виробниче обладнання, що приводить до підвищення якості продукції та зменшення витрат на виробництво;
- підвищення конкурентоспроможності: здатність виробляти продукцію з вищою точністю та меншими допусками дає підприємствам конкурентну перевагу на ринку;
- економія часу та ресурсів: автоматична корекція похибок зменшує потребу в частому калібруванні КВМ, що економить час та знижує експлуатаційні витрати;
- розширення можливостей використання КВМ: підвищена точність дає змогу використовувати КВМ для вимірювання більш складних та прецизійних деталей, розширюючи сферу застосування цього обладнання;
- підвищення надійності результатів: зменшення впливу зовнішніх факторів на результати вимірювань підвищує довіру до отриманих даних та зменшує ризики, пов'язані з неточними вимірюваннями.

Список використаних джерел

1. Chandrasekaran R.S.K., Ramakrishnan V., Raghunathan V. S. Modeling and Compensation of Geometric Errors in CMMs. *Journal of Manufacturing Processes*. 2017. Vol. 25. P. 72–84.
2. Chen H., Wu H., Gao Y., Shi Z., Wen Z., Liang Z. Particle Swarm Algorithm-Based Identification Method of Optimal Measurement Area of Coordinate Measuring Machine. *Review of Scientific Instruments*. 2024. Vol. 95. No. 8. P. 085105. <https://doi.org/10.1063/5.0206876>.
3. Costa M.P.F., Ferreira J.P.S., Lopes D.C.P. Automatic Error Correction in CMM Measurements. *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 3. P. 4165–4172.
4. Friedrich C., Kauschinger B., Ihlenfeldt S. Decentralized Structure-Integrated Spatial Force Measurement in Machine Tools. *Mechatronics*. 2016. Vol. 40. P. 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2016.08.008>.
5. Green A.G. Thermal Effects in Coordinate Measuring Machines: A Review. *Precision Engineering*. 2018. Vol. 54. P. 93–104.
6. Grieves C.M.H., Ramesh A.N.S., O'Connor R.T. Statistical Methods for Error Detection and Correction in CMMs. *Measurement Science and Technology*. 2018. Vol. 29. No. 4. P. 045004.
7. Kvasnikov V., Chalyi O., Graf M., Perederko A. Optimizing the Uncertainty of Measurements on a Coordinate Measuring Machine When Controlling Complex Geometric Surfaces. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 4. No. 5 (130). P. 14–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.310051>.
8. Leeming B.E.A., De Silva R.J., Lee K.E.W.W. Real-Time Measurement Error Compensation in CMMs. *Sensors*. 2019. Vol. 19. No. 8. P. 1864.
9. Li J., Liu Z., Xu H. Research on Temperature Compensation Methods for CMMs. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018. Vol. 99. No. 9–12. P. 2457–2468.
10. Paiva J.F.G., Lima R.A.M., Paiva T.R.L. Uncertainty Evaluation in Coordinate Metrology. *Metrology and Measurement Systems*. 2018. Vol. 25. No. 2. P. 271–285.

Chalyi O. V.

Postgraduate Student,

Assistant Professor at the Department of Computerized Electrical Engineering Systems and Technologies,
National Aviation University

Kyiv, Ukraine

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

ORCID: 0009-0003-5429-8869

AUTOMATIC ERROR CORRECTION IN MEASUREMENTS ON COORDINATE MEASURING MACHINES

Abstract

Coordinate Measuring Machines (CMMs) play a crucial role in modern manufacturing and quality control, providing high-precision measurements of complex parts' geometric parameters. However, even the most advanced CMMs are subject to various factors that lead to measurement errors. This article is dedicated to the development and analysis of methods for automatic error correction in CMM measurements, which significantly improve the accuracy of results without the need for physical modification of existing equipment.

The paper presents a comprehensive mathematical model of the CMM measurement process, which takes into account geometric, kinematic, and thermal sources of errors. This model allows for a detailed description of the interaction between various CMM components and their impact on measurement accuracy. Based on this model, a multi-level automatic correction algorithm has been developed, combining methods of kinematic modeling and statistical analysis to detect and compensate for different types of errors. The algorithm considers the specifics of CMM operation in various modes and operating conditions, ensuring its versatility and effectiveness.

A theoretical justification of the proposed method has been conducted, including proof of its convergence and estimation of convergence speed for different CMM configurations and types of measured parts. This theoretical foundation is based on mathematical methods and ensures the reliability and predictability of the algorithm's performance under various conditions. It is shown that the application of automatic correction allows for a reduction in total measurement error by 20–30% compared to traditional CMM calibration methods. This significant improvement in accuracy opens up new possibilities for using CMMs in high-precision manufacturing processes.

The results of the research have broad practical significance for industries where CMMs are used, including aerospace, automotive, precision component manufacturing, and medical equipment production. In each of these industries, increased measurement accuracy can lead to substantial improvements in product quality, reduction in defect rates, and optimization of manufacturing processes. The proposed method of automatic error correction in CMM measurements can become the basis for developing a new generation of high-precision metrological systems that provide reliable results in production conditions. This opens up prospects for creating more advanced CMMs that can meet the growing demands for accuracy in modern industry.

Key words: coordinate measuring machine, automatic error correction, metrology, precision measurements, geometric parameters, thermal compensation, calibration, quality control, manufacturing optimization.

References

1. Chandrasekaran, R.S.K., Ramakrishnan, V., & Raghunathan, V.S. (2017). Modeling and compensation of geometric errors in CMMs. *Journal of Manufacturing Processes*, 25, 72–84.
2. Chen, H., Wu, H., Gao, Y., Shi, Z., Wen, Z., & Liang, Z. (2024). Particle swarm algorithm-based identification method of optimal measurement area of coordinate measuring machine. *Review of Scientific Instruments*, 95 (8), 085105. <https://doi.org/10.1063/5.0206876>.
3. Costa, M.P.F., Ferreira, J.P.S., & Lopes, D.C.P. (2018). Automatic error correction in CMM measurements. *Procedia Manufacturing*, 3, 4165–4172.
4. Friedrich, C., Kauschinger, B., & Ihlenfeldt, S. (2016). Decentralized structure-integrated spatial force measurement in machine tools. *Mechatronics*, 40, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2016.08.008>.
5. Green, A.G. (2018). Thermal effects in coordinate measuring machines: A review. *Precision Engineering*, 54, 93–104.
6. Grieves, C.M.H., Ramesh, A.N.S., & O'Connor, R.T. (2018). Statistical methods for error detection and correction in CMMs. *Measurement Science and Technology*, 29 (4), 045004.
7. Kvasnikov, V., Chalyi, O., Graf, M., & Perederko, A. (2024). Optimizing the uncertainty of measurements on a coordinate measuring machine when controlling complex geometric surfaces. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5(130)), 14–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.310051>.
8. Leeming, B.E.A., De Silva, R.J., & Lee, K.E.W.W. (2019). Real-time measurement error compensation in CMMs. *Sensors*, 19 (8), 1864.
9. Li, J., Liu, Z., & Xu, H. (2018). Research on temperature compensation methods for CMMs. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99 (9–12), 2457–2468.
10. Paiva, J.F.G., Lima, R.A.M., & Paiva, T.R.L. (2018). Uncertainty evaluation in coordinate metrology. *Metrology and Measurement Systems*, 25 (2), 271–285.



ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

УДК 619:616.98-036.1:611.018.2

Ліщук С. Г.

кандидатка сільськогосподарських наук,
доцентка кафедри нормальної та патологічної морфології і фізіології,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: itomlin@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6294-5259

Ковальова О. М.

магістр ветеринарної медицини,
асистентка кафедри нормальної та патологічної морфології і фізіології,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: frolova.vas4422@gmail.com
ORCID: 0009-0000-9131-9380

Добровольський В. А.

магістр ветеринарної медицини,
асистент кафедри нормальної та патологічної морфології і фізіології,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: Dobrovolsky.va@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2678-5649

ГЕМАНГІОМИ ЯК ПОТЕНЦІЙНІ УСКЛАДНЕННЯ БАБЕЗІОЗУ: МОРФОГІСТОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ КЛІНІЧНИХ ВИПАДКІВ

Анотація

Гемангіома селезінки у собаки являє собою доброякісне новоутворення, що формується через неконтрольоване розростання кровоносних судин у тканинах органу.

У статті наведено результати дослідження впливу бабезіозу на формування гемангіоми селезінки у собак, а також вивчення частоти виникнення цієї патології і факторів, що сприяють її розвитку. Проаналізовано морфологічні і гістологічні характеристики гемангіоми, патофізіологічні механізми її утворення, а також ризик-фактори та прогностичні маркери для покращення методів профілактики і ранньої діагностики захворювання.

Загальний клінічний аналіз крові собак з гемангіомою селезінки виявив зниження рівнів еритроцитів та гемоглобіну, виражену тромбоцитопенію та лейкоцитоз. Зниження гемоглобіну та гематокриту вказує на розвиток гемолітичної анемії та є ознакою анемічного синдрому, що спричиняє морфологічні зміни та порушення роботи всіх органів і систем.

Ультразвукове дослідження тварин виявило гіпоехогенне утворення округлої форми, з неоднорідною структурою, ознаками патологічного кровотоку та чіткими краями. Рентгенограма продемонструвала гіпоехогенну ділянку та збільшення селезінки з характерними змінами в тканинах. Гістологічне дослідження органу після проведеної спленектомії показало, що тканина селезінки містить множинні судини малого діаметру капілярного типу, які розміщуються в фіброзній стромі та утворюють сітку різної форми. Вся пухлина складається з ендотеліальних трубочок, що в диференціальній діагностиці допомагає відрізнити гемангіому від злоякісних новоутворень, як-от гемангіосаркома.

Таким чином, доведено, що збільшення функціонального навантаження на селезінку може спричинити патологічні зміни, які сприяють утворенню доброякісних новоутворень, як-от гемангіома. Цей процес може бути пов'язаний з порушенням кровообігу, змінами в гемодинаміці, активацією ангіогену та тривалим впливом інфекцій, зокрема бабезіозу.

Ключові слова: бабезіоз, собака, гемангіома, селезінка.

Вступ. Селезінка виконує багато життєво важливих функцій, які підтримують загальний стан здоров'я м'ясоїдних та здатні боротися з інфекціями і захворюваннями. Зокрема, цей орган служить резервуаром та здійснює фільтрацію крові, видаляючи з неї старі або пошкоджені еритроцити, бере участь в обміні заліза, яке є необхідним для утворення гемоглобіну в еритроцитах, завдяки своїй структурі та наявності імунних клітин здатен виявляти патогенні організми, такі як бактерії та віруси [6].

Гемангіома селезінки у собак є доброякісною пухлиною, що виникає внаслідок аномального розростання кровоносних судин у тканинах селезінки. Це утворення може залишатися непоміченим протягом тривалого часу, оскільки часто розвивається без видимих симптомів [8].

За статистичними даними, близько 5–7% пухлин селезінки у собак є гемангіомами, проте ця цифра може варіювати залежно від популяції собак та території. Наприклад, у США та Європі частота виявлення гемангіом селезінки серед старших собак, особливо серед порід, схильних до новоутворень (таких як німецькі вівчарки, лабрадори та золотисті ретривери), коливається від 10 до 15% серед усіх випадків пухлинних уражень селезінки [5].

Причини виникнення гемангіоми селезінки досі залишаються предметом вивчення. Відомо, що на її появу можуть впливати як генетичні фактори, так і екологічні умови [6]. Одним з важливих факторів ризику є інфекційні та інвазійні захворювання, такі як бабезіоз – паразитарне захворювання, що викликається найпростішими з роду *Babesia*. Інфекція *Babesia* часто призводить до ушкодження еритроцитів і порушень у роботі селезінки, що може стимулювати розвиток гемангіоми. Деякі дослідження також вказують на те, що перенесений бабезіоз підвищує ризик розвитку пухлин селезінки, що робить гемангіому частим ускладненням [4]. Ця інвазія значно навантажує систему органів кровотворення, особливо селезінку, яка активно залучається до очищення крові від пошкоджених еритроцитів [7].

Також у регіонах, де бабезіоз поширений через велику кількість кліщів, що є переносниками *Babesia*, ризик розвитку гемангіоми у собак може бути вищим [3; 9].

Гемангіома селезінки у собак часто не викликає симптомів на ранніх стадіях. Проте за збільшення розмірів пухлини можливі такі симптоми, як апатія, слабкість, втрата апетиту, втрата ваги та навіть епізоди колапсу через крововтрату. Розрив гемангіоми може призвести до небезпечної для життя внутрішньої кровотечі [10]. Діагностика пухлини селезінки здійснюється за допомогою ультразвукового дослідження, комп'ютерної томографії або магнітно-резонансної томографії, а підтвердження діагнозу можливе через гістологічний аналіз тканини після біопсії або видалення органу [2].

Хоча пряма причина появи гемангіоми селезінки зазвичай не пов'язана з бабезіозом, існує ймовірність, що такі хронічні або важкі інвазії можуть непрямо сприяти розвитку новоутворень. Це може бути зумовлено:

- хронічним запаленням: постійне запалення через руйнування еритроцитів і навантаження на селезінку може призвести до змін у тканинах органу, хоча цей механізм характерніший для більш агресивних пухлин, таких як гемангіосаркома;
- імунними порушеннями: активація імунної системи може створювати умови для росту пухлин, оскільки хронічний стрес імунної системи іноді викликає генетичні зміни в тканинах;
- травматизацією органу: інтенсивна робота селезінки за бабезіозу підвищує ризик її пошкодження, що теоретично може сприяти появі атипичних клітин у місцях мікротравм, хоча цей зв'язок не є достатньо підтвердженим [1].

Мета роботи полягає в аналізі впливу перенесеного бабезіозу на розвиток гемангіоми селезінки у собак, встановленні частоти виникнення та зміни факторів, які сприяють появі цієї хвороби; з'ясуванні морфологічних та гістологічних особливостей гемангіоми селезінки у тварин; дослідженні патофізіологічних механізмів розвитку цього утворення; виявленні факторів ризику й прогностичних маркерів для профілактики та методів ранньої діагностики патологій для вдосконалення лікування.

Дослідження проводилися на кафедрі нормальної та патологічної морфології і фізіології факультету ветеринарної медицини і технологій у тваринництві Закладу вищої освіти «Подільський державний університет».

У дослідницькій апробації було проаналізовано анамнестичні дані собак за останні три роки на базі восьми приватних лікарень ветеринарної медицини у Вінницькій області. Для вивчення зазначених даних проводили аналіз ветеринарної звітності клінік, записів в журналі з використанням електронної програми "JetVet" для реєстрації хворих тварин. Всього було проаналізовано історії хвороб 1 326 собак, що переохворіли на бабезіоз. Також враховані особисті спостереження під час досліджень. Піддослідними тваринами були пацієнти віком до 10 років, різних порід, вікових груп, що перебували в різних фізіологічних станах та мали в анамнезі та клінічній картині попередньо встановлений діагноз бабезіоз. Зокрема, виявили та дослідили 12 історій хвороб тварин, які в анамнезі мали важку форму бабезіозу, а згодом встановлений діагноз «гемангіома селезінки».

Під час аналізу даних враховані фізіологічні, клінічні та патоморфологічні параметри. Разом із загальними методами дослідження стану тварини були застосовані гістологічні методи досліджень. Після надходження у клініку для встановлення діагнозу у тварин збирали анамнез, проводили загальний клінічний огляд, вимірювали температуру тіла, досліджували мазки периферичної крові, проводили гематологічні дослідження крові, а за підозру на гемангіому також проводили гістологічне дослідження біологічного матеріалу, ультразвукове та рентгенологічне дослідження селезінки.

Під час встановлення діагнозу проводили мікроскопію мазків периферичної крові. Для проведення загального аналізу крові та виготовлення мазка біоматеріал збирали чітко до мітки в пробірці з ЕДТА. Біохімічні показники сироватки крові досліджували за допомогою автоматичного аналізатора «STAT FAX 1904+» (США).

Матеріалом гістологічного дослідження став біологічний матеріал селезінки, отриманий від дванадцяти тварин після проведеної спленектомії. Далі провели фіксацію зрізів органу товщиною 5 мкм в 10% формаліні, які потім були пофарбовані за загальноприйнятою методикою, забарвлення мазків проводилося гематоксилин-еозинном. Заливка в ParaplastPlus®.

Частина гістологічних зрізів отримана за допомогою заморожуючого мікротому МЗ-2, частина – шляхом заливання до парафіну та нарізки на санному мікротомі МС. Зафарбовані зрізи було заключено у синтетичний бальзам. Для мікроскопічного дослідження застосовувався світловий мікроскоп Microscope: DM3000, Camera:FLEXACAM-C1-2721240065, Format: 2160p, 3840x2160 [3].

Статистичну обробку результатів експериментальних досліджень проводили визначенням середнього арифметичного (M), його похибки (m) та рівня вірогідності (p) з використанням таблиці t-критеріїв Стьюдента, а також за допомогою стандартного пакета «Statistica», у програмі Microsoft Exsel 2013 і Statsf.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час дослідження результатів загального клінічного гематологічного аналізу крові у дванадцяти собак з гемангіомою селезінки (табл. 1) відзначаємо зниження рівня вмісту еритроцитів (RBC) та гемоглобіну (HGB), яскраво виражену тромбоцитопенію (Plt) та лейкоцитоз (WBC).

Таблиця 1. Загальний клінічний та біохімічний аналіз крові за гемангіоми селезінки у собак (M±m)

Вид дослідження	Середня норма у дрібних тварин	Результати дослід у собак (M±m)
HGB, g/L	120–180	118,60±0,04*
RBC, 10 ⁹ /л	6–16,5	5,2±0,03*
MCV, FL	60–77	78,1±0,6*
MCH, pg	19–24	28,8±0,10*
WBC 10 ⁹ /л	6–16,5	16,9±0,08*
Lymph, 10 ⁹ /л	1–5	3,1±0,01*
Gran, 10 ⁹ /л	2–8	2,5±0,10*
Mon, 10 ⁹ /л	0,1–1	0,3±0,10*
HCT, л/л 4	0,37–0,55	0,038±0,11*
Plt, 10 ⁹ /л	200–580	49,9±0,20*
Глюкоза	3,4–6,1	6,2±0,10*
Загальний білок	50,0–85,0	61,2±0,18*
АЛТ, мкмоль/л	6–76	37±0,13*
АСТ, мкмоль/л	10–48	19±0,23*

Примітка: різниця є вірогідною (P<0,005)

Кількісний вміст лімфоцитів, моноцитів та гранулоцитів перебував у межах норми. Це може свідчити про те, що кровотворна відповідь наразі не активована на рівні цих клітинних популяцій або вони функціонують у стабільному режимі, незважаючи на наявність інших відхилень у крові.

Зниження показнику гемоглобіну та гематокриту очевидно спричинене гемолітичною анемією та є ознакою анемічного синдрому, що вказує на морфологічні зміни та порушення роботи всіх органів і систем. З усіх перерахованих показників найнижчими були показники рівня тромбоцитів, що може призвести до підвищеного ризику кровотечі.

Рівень глюкози, загального білка, аланінамінотрансферази (АлАт) та аспартатамінотрансферази (АсАт) у сироватці крові собаки мав незначне коливання, проте залишався в межах фізіологічної норми. Це вказує на стабільний стан метаболічних процесів, які регулює печінка.

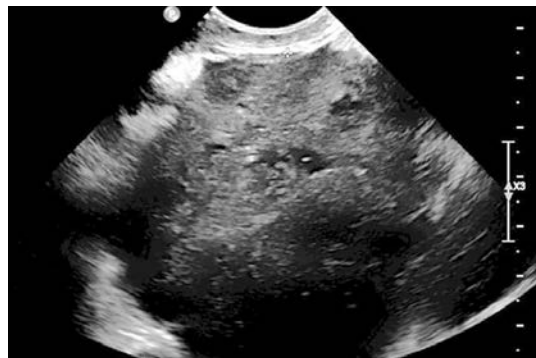


Рис. 1. Зображення пухлини селезінки собаки на УЗД (сука, кличка Шері, 9 років)

Ультразвукове дослідження гемангіоми селезінки у однієї з підослідних собак (рис. 1) демонструє характерне гіпоехогенне утворення округлої форми з неоднорідною структурою, ознаками патологічного кровотоку та чіткими краями. За утворенням немає акустичних ефектів, відповідно, воно має знижений рівень ехогенності, що робить його темнішим на ультразвуковому зображенні порівняно з навколишніми тканинами селезінки. Такі властивості часто характерні для пухлини, що містить рідину.

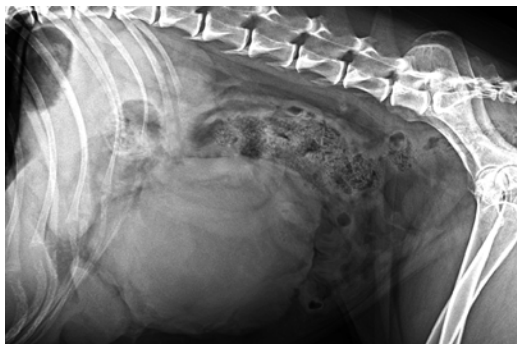


Рис. 2. Зображення пухлини селезінки собаки на рентгенограмі (сука, кличка Шері, 9 років)

На рентгенограмі органів черевної порожнини тієї ж собаки виявлено збільшення окружності в середній частині живота. Візуалізується збільшена селезінка, яка розташована в лівому верхньому квадранті. На рентгенограмі вона виглядає як темна (гіпоехогенна) область, оскільки орган є пухким і містить кров. Також видно округле утворення в селезінці, яке діагностовано як гемангіома.

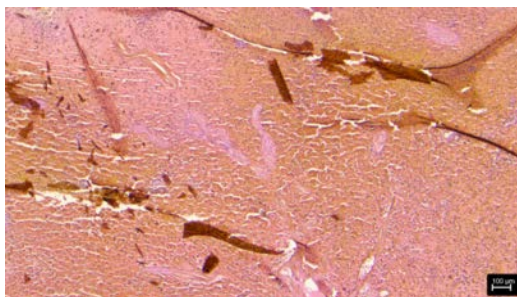


Рис. 3. Гемангіома селезінки собаки (сука, кличка Шері, 9 років)
Фарбування гематоксилин-еозином. Заливка в ParaplastPlus®.

Image Size: 1280x720; Real Size: 2 703,34 μm x1 519,71 μm

Microscope: DM3000, Obj. Mag: 4, Zoom Iris: 0

Camera: FLEXACAM-C1-2721240065, Format: 2160p, 3840x2160, Exposure: 20.500 ms

В зоні гемангіоми спостерігається зміна структури тканин, що свідчить про наявність рідинного вмісту або крові, характерного для судинних утворень.

Гістологічне дослідження органу після спленектомії (рис. 3) показало, що тканина селезінки має множинні судини малого діаметру капілярного типу, які розміщуються в фіброзні стромі та утворюють різної форми сітку. Стінки окремих капілярів потовщені, що викликано підвищеною проліферацією ендотеліальних клітин. Це призвело до збільшення кількості і розміру судин у пухлинній масі. У просвіті капілярів є тромбоутворення, викликане ендотеліальною дисфункцією, оскільки пухлинні ендотеліальні клітини мають порушення у виробленні антикоагулянтних факторів.

Вся пухлина складається з ендотеліальних трубочок, що йдуть в різних напрямках – поперековому, повздовжньому та косому. Ендотелій має вигляд тонкої пластинки, що побудована з витягнутих по довжині капілярів клітин – ендотеліоцитів. Наявність ендотеліальних трубочок є важливим для встановлення діагнозу гемангіоми, тому що це допомагає відрізнити її від інших новоутворень, таких як гемангіосаркома, яка є злоякісною пухлиною.

Клітини неправильної витягнутої форми мають різну величину, одне або два овальні ядра. Гетерогенність за розмірами клітин може свідчити про різні стадії клітинного розвитку та їхню реакцію на патологічні зміни.

Подекуди зустрічаються і без'ядерні клітини, що в цьому разі може бути результатом апоптозу або інших клітинних процесів, що відбуваються в пухлині. У деяких клітинах ядра набухлі, містять велику кількість рідини. Клітини з такими ядрами мають велику товщину, тому просвіт капіляру здається замкнутим. Це може бути результатом підвищеної проникності судин або ослаблення клітинної структури, що є характерним для пухлин, особливо в умовах запалення або ішемії. Під ендотелієм розташована базальна мембрана, яка регулює процеси клітинної адгезії та проліферації, забезпечуючи вибіркочну проникність. Чітко видно зміни в її структурі, що може впливати на проникаючу здатність пухлини і призводити до розвитку набряків та інфільтрації навколишніх тканин.

Висновки. Гемангіома селезінки у собак є важливою проблемою у ветеринарній онкології, особливо серед порід з підвищеною схильністю до новоутворення та в зонах з високим рівнем поширення бабезіозу. Внаслідок тривалої інфекції та збільшення функціонального навантаження на орган можуть розвиватися патологічні зміни, що сприяють формуванню доброякісних новоутворень, таких як гемангіома. Цей процес може бути зумовлений порушеннями в кровообігу, зміненним гемодинамічним режимом та активацією ангиогенезу.

Таким чином, у випадках тривалої інфекційної активності та враження селезінки внаслідок бабезіозу розвиток гемангіом є можливим, хоча й нетиповим ускладненням цієї хвороби. Це підкреслює важливість моніторингу стану тварини та своєчасного виявлення можливих ускладнень під час лікування бабезіозу. Подальші дослідження у цій сфері можуть допомогти перевірити гіпотези та підтвердити нові закономірності, а також знайти нові підходи до лікування захворювання.

Список використаних джерел

1. Бондаренко П.І., Гуменюк О.В., Кравченко А.М. Особливості патоморфології доброякісних пухлин у собак. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Ветеринарна медицина*. 2020. № 1. С. 57–63.
2. Возняк Е.Дж., Барр Б.К., Томфорд Дж.В., Яман І., Макдоноу С., Мур. Ф., Найдан Д., Робінсон Т.В., Конрад А. Клінічна, анатомічна та імунопатологічна характеристика інфекції *Babesia gibsoni* у домашнього собаки (*Canis familiaris*). *J. Parasitol.* 2019. С. 692–699. DOI: 10.2307/3284248.
3. Горальський Л.П., Хомич В.Т., Кононський О.І. Основи гістологічної техніки і морфофункціональні методи дослідження у нормі та при патології. Житомир: Полісся. 2015. 388 с.
4. Левченко В.І., Влізло В.В., Кондрахін І.П. та ін. Ветеринарна клінічна біохімія / за ред В.І. Левченка і В.Л. Галяса. Біла Церква, 2002. 400 с.
5. Лішук С.Г., Ковальова О.М., Добровольський В.А. Зміни показників крові та окремі патогістологічні аспекти печінки при бабезіозі м'ясоїдних. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2024. Вип. 2 (43). Ветеринарні наук. С. 224–229. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-2.32>.
6. Прус М.П., Краснянчук І.В. Фактори клітинного та гуморального імунітету при експериментальному бабезіозі собак. Київ, 2022. С. 78.
7. Karasová M., Tóthová C., Grelová S., Fialkovičová M. The Etiology, Incidence, Pathogenesis, Diagnostics, and Treatment of Canine Babesiosis Caused by *Babesia gibsoni* Infection. *Animals*. 2022. № 12 (6). P. 739. <https://doi.org/10.3390/ani12060739>.
8. Mathews K.G., Bunch S.E. Splenic neoplasia in the dog. *Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*. 2017. Vol. 37. No. 3. P. 819–835.
9. Onishi T., Suzuki S., Horie M., Hashimoto M., Kajikawa T., Ohishi I., Ejima H. Serum hemolytic activity of *Babesia gibsoni*-infected dogs: The difference in the activity between self and nonself red blood cells. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2023. P. 203–206. DOI: 10.1292/jvms.55.203.
10. Schultze A.E. Splenic diseases. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*. 2022. Vol. 39. No. 3. P. 683–698.

Lishchuk S. G.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Normal and Pathological Morphology and Physiology,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: itomlin@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6294-5259*

Kovalova O. M.

*Master of Veterinary Medicine,
Assistant at the Department of Normal and Pathological Morphology and Physiology,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: frolova.vas4422@gmail.com
ORCID: 0009-0000-9131-9380*

Dobrovolsky V. A.

*Master of Veterinary Medicine,
Assistant at the Department of Normal and Pathological Morphology and Physiology,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: Dobrovolsky.va@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2678-5649*

HEMANGIOMAS AS POTENTIAL COMPLICATIONS OF BABESIOSIS: MORPHOHISTOLOGICAL ANALYSIS OF CLINICAL CASES

Abstract

A splenic hemangioma in a dog is a benign neoplasm that is formed due to the uncontrolled growth of blood vessels in the tissues of the organ.

The article presents the results of the study of the influence of babesiosis on the formation of splenic hemangioma in dogs, as well as the study of the frequency of occurrence of this pathology and factors contributing to its development. Morphological and histological characteristics of hemangioma, pathophysiological mechanisms of its formation, as well as risk factors and prognostic markers for improving methods of prevention and early diagnosis of the disease were analyzed.

The results of the general clinical blood analysis of dogs with splenic hemangioma revealed a decrease in the levels of erythrocytes and hemoglobin, marked thrombocytopenia and leukocytosis. A decrease in hemoglobin and hematocrit indicates hemolytic anemia and is a sign of anemic syndrome, which indicates morphological changes and dysfunction of all organs and systems.

Ultrasound examination of animals revealed a hypoechoic formation of a rounded shape, with a heterogeneous structure, signs of pathological blood flow and clear edges. An X-ray showed a hypoechoic area and an enlarged spleen with characteristic tissue changes. Histological examination of the organ after splenectomy showed that the spleen tissue contains multiple vessels of small diameter of the capillary type, which are located in the fibrous stroma and form a mesh of various shapes. The entire tumor consists of endothelial tubes, which in differential diagnosis helps to distinguish hemangioma from malignant neoplasms, such as hemangiosarcoma.

Thus, it has been investigated that an increase in the functional load on the spleen can cause pathological changes that contribute to the formation of benign neoplasms, such as hemangioma. This process may be associated with impaired blood circulation, changes in hemodynamics, angiogen activation, and long-term exposure to infections, including babesiosis.

Key words: babesiosis, piroplasmosis, dog, splenic hemangioma.

References:

1. Bondarenko, P.I., Humenyuk, O.V., & Kravchenko, A.M. (2020). Osoblyvosti patomorfologiyi dobroyakisnykh pukhlyn u sobak [Features of the pathomorphology of benign tumors in dogs]. *Visnyk Sums'koho natsional'noho aharnoho universytetu. Seriya Veterinarnaya meditsina*, 1, 57–63 [in Ukrainian].
2. Levchenko V.I., Vlizlo V.V., Kondrakhin I.P. and others; edited by V.I. Levchenko and V.L. Galyas. (2002). *Veterynarna klinichna biokhimiia*. [Veterinary clinical biochemistry]. Bila Tserkva. 400 p. [in Ukrainian].
3. Wozniak E.J., Barr B.C., Thomford J.W., Yamane I., McDonough S.P., Moore P.F., Naydan D., Robinson T.W., Conrad P.A. (2019). Klinichna, anatomichna ta imunopatohichna kharakterystyka infektsii Babesia gibsoni u domashnoho sobaky. [Clinical, anatomic, and immunopathologic characterization of Babesia gibsoni infection in the domestic dog]. (*Canis familiaris*) *J. Parasitol.* P. 692–699. DOI: 10.2307/3284248. [in Ukrainian].
4. Horalskyi L.P., Khomych V.T., & Kononskyi O.I. (2015). Osnovy histolohichnoi tekhniky i morfofunktionalni metody doslidzhennia u normi ta pry patolohii. [Basics of histological technique and morphofunctional research methods in normal and pathological conditions]. Zhytomyr: Polissia. [in Ukrainian].
5. Lishchuk, S.G., Kovalova, O.M., & Dobrovolskyi, V.A. (2024). Zminy pokaznykiv krovi ta okremi patohistolohichni aspekty pechinky pry babeziuzi m'iasoidykh [Changes in blood parameters and certain pathohistological aspects of the liver in carnivores with babesiosis]. *Podilskyi Visnyk: Sil'ske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*, 2 (43), 224–229. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-2.32> [in Ukrainian].
6. Prus M.P., Krasnyanchuk I.V. (2022) Faktory klitynnoho ta humoralnoho imunitetu pry eksperymentalnomu babeziuzi sobak. [Factors of cellular and humoral immunity in experimental babesiosis in dogs]. Kyiv, p. 78 [in Ukrainian].
7. Karasová, M., Tóthová, C., Grelová, S., & Fialkovičová, M. (2022). The etiology, incidence, pathogenesis, diagnostics, and treatment of canine babesiosis caused by Babesia gibsoni infection. *Animals*, 12 (6), 739. <https://doi.org/10.3390/ani12060739>.
8. Mathews, K.G., & Bunch, S.E. (2017). Splenic neoplasia in the dog. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 37 (3), 819–835.
9. Onishi T., Suzuki S., Horie M., Hashimoto M., Kajikawa T., Ohishi I., Ejima H. (2022). Serum hemolytic activity of Babesia gibsoni-infected dogs: The difference in the activity between self and nonself red blood cells. *J. Vet. Med. Sci.* P. 203–206. DOI: 10.1292/jvms.55.203.
10. Schultze, A.E. (2022). Splenic diseases. *The Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 39 (3), 683–698. <https://doi.org/10.3390/ani12060739>.

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(45) 2024

Issue 4(45) 2024

Реєстрація суб'єкта у сфері онлайн-медіа:
Рішення Національної ради України з питань телебачення
і радіомовлення № 2330 від 11.07.2024 року
(Ідентифікатор медіа – R40-05094).

Registration of on-line media entity:
Decision of the National Council of Television
and Radio Broadcasting of Ukraine No. 2330 as of 11.07.2024
(Media ID: R40-05094)

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
Замов. 1224/890. E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Publishing House "Helvetica"
6/1 Inglezi, Odesa, 65101
Phone +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
Order 1224/890. E-mail: mailbox@helvetica.ua
Certificate of the subject of publishing business
DK No. 7623 dated June 22, 2022