

Видається з 1996 року  
Засновник і видавець –  
Сумський національний аграрний  
університет  
Реєстраційне свідоцтво  
КВ № 23691-13531 Р від 21.11.2018 р.

Міністерство освіти і науки України

# ВІСНИК СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Виходить 4 рази на рік.

Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»

Випуск 1 (55), 2024

## ЗМІСТ

*Редакційна колегія серії*  
**Зубко В.М.**, доктор технічних наук, професор,  
головний редактор, Сумський національний аграрний  
університет (Україна)  
**Тарельник В.Б.**, доктор технічних наук, професор,  
заступник головного редактора, Сумський  
національний аграрний університет (Україна)  
**Думанчук М.Ю.**, кандидат технічних наук,  
відповідальний секретар, Сумський національний  
аграрний університет (Україна)  
**Антошевський Богдан**, доктор технічних наук,  
професор, Келецький технологічний університет  
(Польща)  
**Кундера Чеслав**, доктор технічних наук, професор,  
Келецький технологічний університет (Польща)  
**Кирик Г.В.**, доктор технічних наук, доцент, Сумський  
національний аграрний університет (Україна)  
**Лобода В.Б.**, кандидат фізико-математичних  
наук, професор, Сумський національний аграрний  
університет (Україна)  
**Коноплянченко Є.В.**, кандидат технічних  
наук, доцент, Сумський національний аграрний  
університет (Україна)  
**Гапонова О.П.**, доктор технічних наук, професор,  
Сумський державний університет (Україна)  
**Хінек Рубік**, кандидат технічних наук,  
Чеський університет наук про життя (Чехія)  
**Девід Херак**, кандидат технічних наук,  
Чеський університет наук про життя (Чехія)  
**Шуляк М.Л.**, доктор технічних наук, професор,  
Сумський національний аграрний університет  
(Україна)  
**Харченко С.О.**, доктор технічних наук, професор,  
Полтавський державний аграрний університет  
(Україна)  
**Лебедєв А.Т.**, доктор технічних наук, професор,  
Сумський національний аграрний університет  
(Україна)  
**Сопарьов О.О.**, кандидат технічних наук, Сумський  
національний аграрний університет (Україна)  
**Роговський І.Л.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України (Україна)  
**Оничко В.І.**, кандидат сільськогосподарських  
наук, доцент, Сумський національний аграрний  
університет (Україна)  
**Мельник А.В.**, доктор сільськогосподарських наук,  
Сумський національний аграрний університет  
(Україна)  
**Троценко В.І.**, доктор сільськогосподарських  
наук, професор, Сумський національний аграрний  
університет (Україна)  
**Перцевой Ф.В.**, доктор технічних наук, професор,  
Сумський національний аграрний університет  
(Україна)  
**Сабадаш С.М.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Сумський національний аграрний університет  
(Україна)  
**Мазуренко І.К.**, доктор технічних наук, старший  
науковий співробітник, академік Академії вищої  
освіти України, Сумський національний аграрний  
університет (Україна)  
**Сильчук Т.А.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний університет харчових технологій  
(Україна)  
**Мельник О.Ю.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Сумський національний аграрний університет  
(Україна)  
**Бо Лі**, доктор філософії, професор, Хенанський  
інженерно-дослідний центр переробки фруктів  
і овочів та контролю безпеки якості Хенанського  
науково-технічного інституту (Китай)  
**Паван Кумар**, доктор філософії (тваринництва),  
Університет ветеринарії та тваринництва  
Гуру Ангада Дев (Малайзія)  
**Бондаренко Ю.В.**, кандидат технічних наук,  
Національний університет харчових технологій  
(Україна)  
**Самілик М.М.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Сумський національний аграрний університет  
(Україна)  
**Назаренко Ю.В.**, кандидат технічних наук, Сумський  
національний аграрний університет  
(Україна)

|                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Borak K. V., Kulykivskiy V. L., Borovskiy V. M., Pylypovych M. M.</b><br>Improving the reliability of tillage machines operational units.....                                                                                     | 3  |
| <b>Savchenko M. Yu., Radchuk O. V., Golovach I. V.</b><br>Automation of electric autoclave control.....                                                                                                                              | 19 |
| <b>Болгова Н. В., Соколенко В. В., Губа С. О., Ладохін С. В., Мацюк Є. А.</b><br>Аналіз документів системи НАССР на діючому підприємстві.....                                                                                        | 27 |
| <b>Босий М. В., Боса О. А.</b><br>Ефективна та екологічно чиста теплонасосна система опалення<br>та гарячого водопостачання для підприємств сільськогосподарського виробництва.....                                                  | 32 |
| <b>Зубко В. М., Хворост Т. В., Тесленко О. В., Барабаш Г. І., Омельченко Є. М.,<br/>Романовський М. О.</b><br>Дослідження організації і проведення механізованих<br>технологічних операцій у рослинництві.....                       | 37 |
| <b>Куліков О. А., Ратушний О. В., Івченко О. В., Козін В. М., Фесенко Д. І., Жигилій Д. О.</b><br>Поля характеристик контрроторних ступенів гідромашин.....                                                                          | 46 |
| <b>Мікуліна М. О., Саржанов Б. О., Поливанний А. Д.</b><br>Дослідження впливу коефіцієнта надійності агромашини<br>на прямі експлуатаційні затрати аграрного підприємства .....                                                      | 55 |
| <b>Панкова О. В., Сировицький К. Г., Харченко С. О., Оничко В. І., Тарельник В. Б.,<br/>Думанчук М. Ю.</b><br>Метод підвищення врожайності пшениці озимої використанням<br>електромагнітного випромінювання.....                     | 62 |
| <b>Рудь А. В., Грушецький С. М., Корчак М. М., Замойський С. М.</b><br>Роль сучасних технологій у забезпеченні сталого розвитку в сільському господарстві<br>через оптимізацію процесів сіви.....                                    | 69 |
| <b>Самілик М. М., Носик М. І.</b><br>Оцінка якості похідних переробки плодів шовковиці.....                                                                                                                                          | 75 |
| <b>Семірненко С. Л., Семірненко Ю. І.</b><br>Удосконалення технологічного процесу збирання картоплі<br>в умовах агропідприємств малих форм господарювання.....                                                                       | 79 |
| <b>Тарельник Н. В., Думанчук М. Ю., Майфат М. М., Доценко А. О.</b><br>Системний підхід до вибору технологій управління параметрами якості поверхневих<br>шарів деталей машин, що працюють в умовах гідроабразивного зношування..... | 85 |



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2024

Науковий журнал  
«Вісник Сумського національного  
аграрного університету»  
Серія: Механізація та автоматизація  
виробничих процесів»  
внесений до переліку наукових  
фахових видань України  
(категорія «Б») у галузі технічних наук  
(131 «Прикладна механіка»,  
133 «Галузеве машинобудування»,  
208 «Агроінженерія»,  
181 «Харчові технології»)  
на підставі Наказів Міністерства  
освіти і науки України No 1188  
від 24.09.2020 (додаток 5)  
та No 491 від 27.04.2023 (додаток 3).

**Чебаненко Є. В., Бідюк Д. О., Маренкова Т. І.**

Удосконалення страв із бобових для шкільного харчування  
та перспективи їхнього впровадження у меню шкіл..... 90

**Чишак О., Колос В. О.**

Інтенсифікація технологічного процесу оброблення деталей типу кронштейни.....102

Науковий журнал «Вісник  
Сумського національного аграрного  
університету» індексується в  
міжнародних наукометричних базах  
Index Copernicus, ResearchBib

Матеріали журналу перебувають  
у вільному доступі на сайті  
<https://snaubulletin.com.ua/index.php/mapp>

Усі статті проходять процедуру  
таємного рецензування.  
До публікації в журналі  
не допускаються матеріали,  
якщо є досить підстав вважати,  
що вони є плагіатом.  
Відповідальність за точність  
наведених даних і цитат  
покладається на авторів.  
Матеріали друкуються українською  
та англійською мовами.  
У разі цитування посилання на  
«Вісник Сумського національного  
аграрного університету» обов'язкове

Друкується згідно з рішенням  
вченої ради  
Сумського національного  
аграрного університету  
(протокол № 1 від 25.03.2024 р.)

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

Тираж 300 пр.  
Зам. № 0424/294  
© Сумський національний  
аграрний університет, 2024

## IMPROVING THE RELIABILITY OF TILLAGE MACHINES OPERATIONAL UNITS

**Borak Kostiantyn Viktorovych**

Doctor of Engineering, Associate Professor  
 Zhytomyr Agricultural and Technical College, Zhytomyr, Ukraine  
 ORCID: 0000-0002-5611-4707  
 koss1983@meta.ua

**Kulykivskiy Volodymyr Leonidovych**

Doctor of Engineering, Associate Professor  
 Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine  
 ORCID: 0000-0002-4652-0285  
 kylikovskiyv@ukr.net

**Borovskyi Viktor Mykolaiovych**

Senior Lecturer  
 Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine  
 ORCID: 0000-0002-1759-8155  
 borovskiyvm@gmail.com

**Pylypovych Mykola Mykhailovych**

education seeker  
 Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine  
 ORCID: 0009-0002-8985-9868  
 pilipovichmikola@gmail.com

*Tillage machines rank high in the structure of the machine and tractor fleet of modern agricultural enterprises. Loss of their working condition during field work can significantly affect crop yields. Element that predominantly limits the durability of the tillage machines is the operational unit. Solution of such a problem as increasing the durability and wear resistance of the tillage machines operational units cannot be based on the use of one of the existing methods (technological, structural and operational), but must be based on a systematic approach using the full range of available methods. It is necessary to consider all significant factors that affect the durability and wear resistance of the operational units, in the process of implementation of the system approach. It was found that the application of a wear-resistant coating makes it possible to increase the durability of the tillage machines operational units: for hardened disc operational units, when used on sandy loam soils, the durability increases by 1.28-1.41 times, on loamy soils – by 1.11-1.24 times, and on clay soils – by 1.07-1.18 times; for reinforced center hoes, when used on sandy loam soils, the durability increases by 1.41-1.53 times, on loamy soils – by 1.48 times and on clay soils – by 1.39-1.44 times; for reinforced plowshares, when used on sandy loam soils, the durability increases by 1.82-2.13 times, on loamy soils – by 1.5-1.85 times and on clay soils – by 1.34-1.52 times. Thus, the application of a wear-resistant coating to the tillage machines operational units is more effective on soils with higher wear capacity (sandy loam and sandy loam). Regularities of the influence of soil and climatic conditions, operating modes, and storage methods on the durability and wear resistance of the tillage machines operational units are revealed. A scientifically based system for the operation of the tillage machines operational units was developed on the basis of experimental data and theoretical research. Basic principles of increasing the durability of the tillage machines operational units by an integrated approach to adapting their wear resistance, considering soil and climatic conditions and operating modes, are formulated. This allow increasing the durability of the tillage machines operational units by 1.84-2.51 times, depending on the type of operational units and soil and climatic conditions.*

**Key words:** abrasive wear, tillage machines, soil type, operational unit, production, durability, wear resistance.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.1>

**Introduction.** In developed countries, losses caused only by the effects of abrasive wear range from 1 to 4% of the gross national product (Tylczak, 1992). In the agro-industrial complex the most abrasive wear and tear are the tillage machines operational units interacting with the soil environment.

Tillage machines rank high in the structure of the machine and tractor fleet of modern agricultural enterprises. Loss of their working condition during field work can significantly

affect crop yields. Element that predominantly limits the durability of the tillage machines is the operational unit.

There is a wide variety of types and types of operational units, which are classified according to many features (geometric shape, tillage depth, soil impact, presence or absence of a drive, etc. (Sysolin et al., 2001, Morris et al., 2010, Hevko et al., 2005, Salo et al., 2016, Tesliuk et al., 2016, Borak, 2021). When studying the process of wear of the tillage machines operational units and searching for

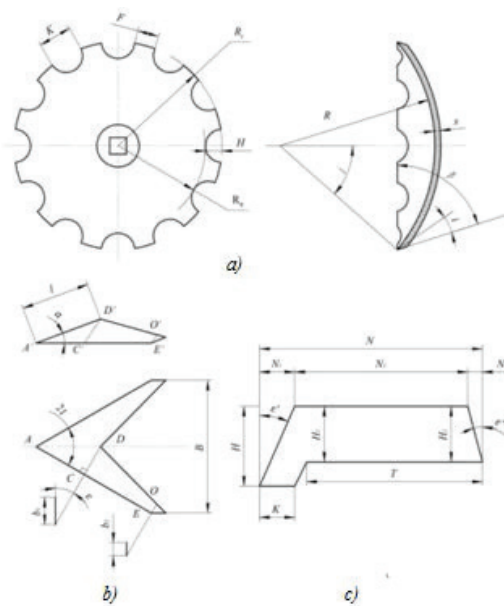
ways to increase their durability and wear resistance, it is advisable to divide them into the following types: plowshare and disk. It is worth noting that the wear process of active operational units differs significantly from that of inactive operational units. Therefore, it is necessary to devote a separate research to finding ways to increase the durability and wear resistance of active operational units. This paper focuses on three tillage machines operational units (two of them are plowshares and one is a disk): a plowshare, a center hoe, and a cutout disc (Fig. 1).

The ratio between the geometric parameters of the operational units determines their type and field of application. The main geometric parameters of plowshare operational units, not shown in Fig. 1, should also include the thickness and angle of sharpening (Fig. 2).

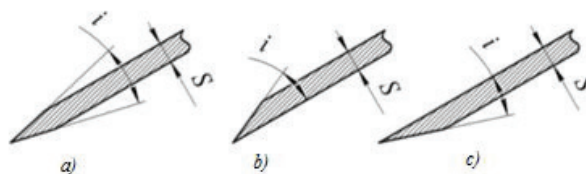
During the technological operation of tillage, due to abrasive wear, the operational units change their geometric parameters (Fig. 3), which leads to a deterioration in the quality of the technological operation and an increase in the traction resistance of the machine.

In addition to the geometric parameters, the physical and mechanical properties of the material of the tillage machines operational units change during wear.

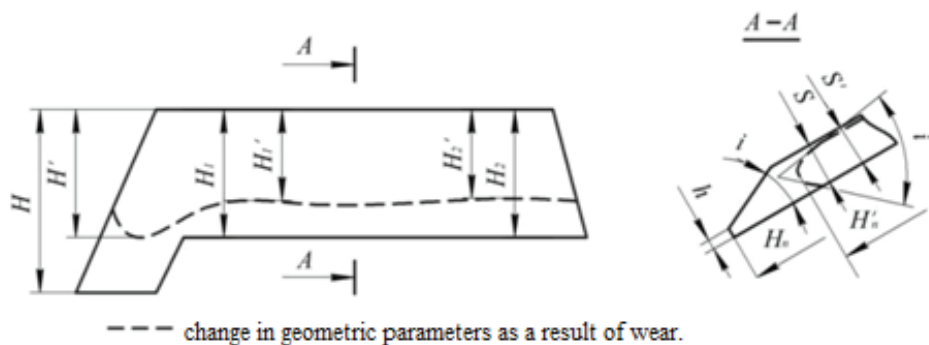
Over the past 50-60 years, the load on the operational units of tillage and sowing machines has increased by about 4 times (due to the increase in their speed and soil compaction by heavy agricultural machinery) (Borak, 2021). All this leads to a constant increase in the wear rate of operational units and a decrease in their reliability, which is why the issue of solving the scientific and practical problem



**Fig. 1. General view and main geometric parameters of the tillage machines operational units (Sysolin et al., 2001, Morris et al., 2010, Hevko et al., 2005, Salo et al., 2016, Tesliuk et al., 2016, Borak, 2021, Bobrytskyi, 2007) used in the research: a) – cutout disc; b) – center hoe; c) – plowshare;  $R_o$  – outer disc diameter;  $R_i$  – inner disc diameter;  $K$  – groove width;  $F$  – tooth width;  $H$  – groove depth;  $s$  – disc thickness;  $i$  – angle of sharpening;  $j$  – angle that defines the relationship between the disk diameter and the radius of curvature;  $R$  – radius of disc curvature;  $\alpha$  – the angle of raising the hoe shin;  $\epsilon$  – the angle of the soil pulverization;  $2\gamma$  – the angle between blades;  $b_1, b_2$  – wing width;  $B$  – working width of the hoe;  $l$  – plow-point length;  $N$  – plowshare length;  $H$  – width of the leading edge;  $H_1$  – width of the blade part;  $H_2$  – edge width on the furrow side;  $\epsilon'$  – plow-point inclination angle;  $\epsilon''$  – inclination angle of the edge from the furrow side;  $T$  – blade length**



**Fig. 2. Scheme of sharpening methods: a), b), c) – two-sided, upper and lower sharpening, respectively;  $S$  – thickness of the operational units**



**Fig. 3. Changing the shape of the plowshare during tillage operations:  $H, H_1, H_2, S, i, h$  – geometric parameters of the new plowshare,  $H', H_1', H_2', S', i'$  – geometric parameters of the worn plowshare**

of increasing the durability and wear resistance of the tillage machines operational units is acute.

Increasing the durability and wear resistance of the tillage machines operational units is possible only with a comprehensive understanding of the process of their wear. During the operation of tillage machines, the operational units are exposed to wear rate in an aggressive abrasive mass (soil), and, as a result, mechanical, physical and chemical processes take place simultaneously in the contact zone. The ratio between the rate of these processes determines the mechanism and nature of abrasive wear.

Increasing the durability and wear resistance of the tillage machines operational units is one of the main tasks of modern mechanical engineering and enterprises involved in their operation. The urgency of this problem is not only due to the need to reduce material consumption, but also to reduce maintenance costs and reduce equipment downtime due to the need to replace worn-out operational units.

The urgency of this problem is not only due to the need to reduce material consumption, but also to reduce maintenance costs and reduce equipment downtime due to the need to replace worn-out operational units. N. K. Myshkin study emphasizes that the knowledge gained over 50 years in the field of tribology is implemented in industry in the following ratio: 80% design and 20% operation (Borak, 2021). Author refers to a report by P. Jost at a conference in London in 2016, where design is understood as the use of structural and technological methods to increase wear resistance (Borak, 2021). With regard to this distribution for the tillage machines operational units, the role of operational methods will be even less. The solution of such a complex problem as increasing the durability and wear resistance of the tillage machines operational units cannot be based on the use of one of the methods (technological, structural and operational), but must be based on a systematic approach using the full range of available methods.

It is necessary to consider all significant factors that affect the durability and wear resistance of the operational units, in the process of implementation of the system approach.

Two types of the tillage machines operational units were used in the work for research:

- disc (cutout and solid disc operational unit);
- plowshares (center hoes and plowshare).

**Materials and methods of research.** Operational researches of the influence of soil moisture on the wear rate of the tillage machines operational units were performed in agricultural enterprises of the Zhytomyr and Vinnytsia regions during 2016-2018. The average speed of the disk tillage machine was 12 km/h, plow – 10 km/h, cultivator – 11,5 km/h.

Soil moisture content was determined by drying to a constant mass as per DSTU B V.2.1-17:2009.

Research was performed on agricultural machines presented in Table 1.

In all cases, the fields were in post-harvest condition (winter wheat and barley). The speed of the plow varied between 10 and 13 km/h, the cultivator and disk unit – 11 and 15 km/h. To identify the nature of the change in abrasive wear, the change in the linear dimensions of the constituent parts of the tillage machines operational units was monitored. Change in weight and linear dimensions was determined after 10 hectares of production per center hoe, 30 hectares per disk and 5 hectares per plowshare.

Research of the effect of the speed of tillage machines on the wear rate of the operational units was performed as per the current state and industry standards in the conditions of agricultural enterprises of Zhytomyr and Vinnytsia regions on tillage machines presented in Table 2.

The mass wear of the operational units was determined on the laboratory scales CP 34001 S by Sartorius (Germany).

To find out the effect of the geometric shape and chemical composition of the wear-resistant layer on the wear resistance and durability of operational units, three types of the tillage machines operational units were used:

- spherical cut-out disk operational unit;
- plowshare;
- center hoe of the cultivator.

It is necessary to consider all the essential factors that affect the durability and wear resistance of operational units, when implementing a systematic approach.

Works of A. V. Balabukha and H. Wenhua argue that the geometric shape of the wear-resistant coating is crucial for increasing the wear resistance of the tillage machines operational units. To determine the effect of the geometric shape of the wear-resistant coating on the surface of disk operational units, various technological options were proposed (Fig. 4). Wear-resistant coating was applied to the disc operational units made of 65Г steel.



Table 1

Operational units used in the research process

| Tillage machine            | Soil type   | Operational unit                            | Material of the operational unit |
|----------------------------|-------------|---------------------------------------------|----------------------------------|
| John Deere 2210 cultivator | Sandy loam  | Center hoe                                  | Steel 28MnB5<br>Steel 65Г        |
|                            | Medium loam |                                             |                                  |
|                            | Light clay  |                                             |                                  |
| ПЛН-3-35                   | Sandy loam  | Plowshare                                   | Steel 65Г<br>Steel Hardox 500    |
|                            | Medium loam |                                             |                                  |
|                            | Light clay  |                                             |                                  |
| УДА-4.5                    | Sandy loam  | Disk operational unit of the matricary type | Steel 28MnB5<br>Steel 65Г        |
|                            | Medium loam |                                             |                                  |
|                            | Light clay  |                                             |                                  |

Table 2

Operational units used in the research process

| Operational units used in the research process |             |                                             |                                                                    |
|------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Tillage machine                                | Soil type   | Operational unit                            | Material of the operational unit + applied wear-resistant material |
| John Deere 2210 cultivator                     | Sandy loam  | Center hoe                                  | 28MnB5                                                             |
|                                                | Medium loam |                                             | 65Г                                                                |
|                                                |             |                                             | 65Г+T-620                                                          |
|                                                |             |                                             | 65Г+T-590                                                          |
|                                                | Light clay  |                                             | 65Г+M-Fe 6                                                         |
| ПЛН3-35                                        | Sandy loam  | Plowshare                                   | 65Г                                                                |
|                                                |             |                                             | 65Г+T-620                                                          |
|                                                | 65Г+T-590   |                                             |                                                                    |
|                                                | Medium loam |                                             | 65Г+M-Fe 6                                                         |
|                                                | Light clay  |                                             | Hardox 500                                                         |
|                                                |             |                                             | Л53                                                                |
| УДА-4.5                                        | Sandy loam  | Disk operational unit of the matricary type | 28MnB5                                                             |
|                                                | Medium loam |                                             | 65Г                                                                |
|                                                |             |                                             | 65Г+T-620                                                          |
|                                                |             |                                             | 65Г+T-590                                                          |
|                                                | Light clay  |                                             | 65Г+M-Fe 6                                                         |

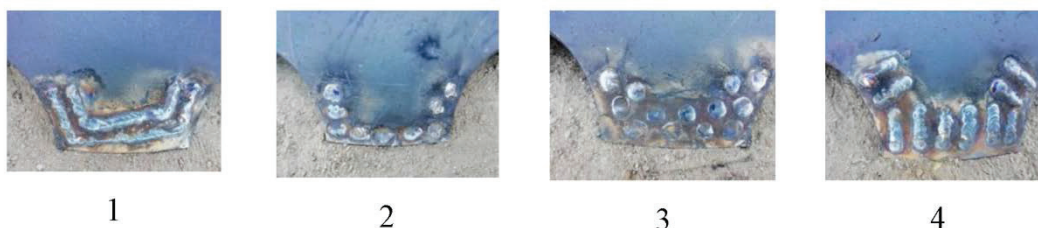


Fig. 4. Options for applying a wear-resistant coating to disc operational units

Operational units were strengthened with three types of electrodes T-620, T-590, and M-Fe 6, the chemical composition of which is presented in Table 3.

Research of the wear characteristics of the plowshare tillage machines operational units was conducted on three types of soils during 2015-2018 in agricultural enterprises of Zhytomyr and Vinnytsia regions. Tillage machines and operational units used in the research are presented in Table 4.

Research included series-produced plowshares made of Л53 and Nardox 500 steel and center hoes made of

28MnB55 steel (Fig. 5, Fig. 6). Tests were performed without changing the physical and mechanical properties provided by the manufacturers. Operational units, made of 65Г steel, were subjected to bulk hardening at a temperature of 810...830 °C and medium tempering with very precise holding at a temperature of 460...480 °C.

**Results and discussion.** Disc tillage machines are becoming increasingly common in the Ukrainian agricultural sector. In turn, this is due to the need to minimize the impact on the soil, as it not only reduces the economic

Table 3

## Chemical composition of the wear-resistant layer on the surface of the tillage machines operational units

| Chemical element | Electrode type |           |        |
|------------------|----------------|-----------|--------|
|                  | T-620          | T-590     | M-Fe 6 |
| Mn               | 1...1.5        | 1...1.5   | ≤3.0   |
| Si               | 2...2.5        | 2...2.5   | -      |
| C                | 2.9...3.5      | 2.9...3.5 | ≤2.5   |
| P                | ≤0.04          | ≤0.04     | ≤0.04  |
| S                | ≤0.035         | ≤0.035    | ≤0.04  |
| Cr               | 22...24        | 22...27   | ≤10    |
| Ti               | 0.5...1.5      | -         | -      |
| B                | 0.5...1.5      | 0.5...1.5 | -      |
| Mo               | -              | -         | ≤3.0   |
| Nb               | -              | -         | ≤10    |

Table 4

## Operational units used in the research process

| Tillage machine                             | Soil type   | Operational unit                    | Material of the operational unit + applied wear-resistant material |
|---------------------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| John Deere 2210 cultivator                  | Sandy loam  | Center hoe                          | 28MnB5                                                             |
|                                             |             |                                     | 65Г                                                                |
|                                             |             |                                     | 65Г+T-620                                                          |
|                                             | Medium loam |                                     | 65Г+T-590                                                          |
|                                             |             |                                     | 65Г+M-Fe 6                                                         |
| ПЛН-3-35                                    | Sandy loam  | Plowshare                           | 65Г                                                                |
|                                             |             |                                     | 65Г+T-620                                                          |
|                                             | Medium loam |                                     | 65Г+T-590                                                          |
|                                             |             |                                     | 65Г+M-Fe 6                                                         |
|                                             | Light clay  |                                     | Hardox 500                                                         |
|                                             |             |                                     | Л53                                                                |
| Plow “Kverneland”                           | Sandy loam  | Plowshare (with replaceable chisel) | 65Г                                                                |
| Hardox 500                                  |             |                                     |                                                                    |
| Plow “Diamant 11”<br>manufactured by Lemken | Light clay  | Plowshare (with replaceable chisel) | 65Г                                                                |
| Hardox 500                                  |             |                                     |                                                                    |
| КПС-9 PM Cultivator                         |             | Center hoe                          | 28MnB5                                                             |
|                                             |             |                                     | 65Г                                                                |
|                                             |             |                                     | 65Г+T-620                                                          |
|                                             |             |                                     | 65Г+T-590                                                          |
| 65Г+M-Fe 6                                  |             |                                     |                                                                    |



Fig. 5. General view of the plows used during the research: a – plow "Diamant 11" by Lemken, b – plow "Kverneland"



**Fig. 6. Plowshares for the ПЛН-3-35 plow: a – experimental plowshare for sandy loam soils; b – series-produced plowshare**

costs of growing crops, but also has a positive impact on the environment (reduced impact on the soil from energy vehicles and reduced soil erosion).

Increasing the durability and wear resistance of disk tillage machines operational units has been studied by many researchers (Sysolin et al., 2001, Morris et al., 2010, Hevko et al., 2005, Salo et al., 2016, Tesliuk et al., 2016, Borak, 2021, Bobrytskyi, 2007, Aulin & Tykhyi, 2017). The vast majority of works are devoted to technological methods of increasing wear resistance for certain soil and climatic conditions.

Some studies emphasize that the geometric shape of the wear-resistant coating is crucial for increasing the wear resistance of the tillage machines operational units (Kadenko, 2017). To determine the effect of the geometric shape of the wear-resistant coating on the surface of the operational units of disk tillage machines, various technological options were proposed (Fig. 4). Wear-resistant coating was applied to the disk operational units made of 65Г steel.

It has been proven that the geometric shape of the wear-resistant coating applied to the friction surface is not crucial for increasing the wear resistance of tillage machine disc operational units on all types of soil. The difference lies only within the statistical error (up to 3%) (Fig. 7). Sample 2 (Fig. 7) wears more actively because the volume of the applied wear-resistant coating is much smaller than the volume of the coating applied to other samples of the tillage machines operational units.

After the wear layer of the applied wear-resistant coating was worn off, the wear rate became equal to that of a series-produced operational unit. There is also a noticeable decrease in the wear rate as the disk diameter decreases. This is due to a decrease in pressure on the edge of the operational unit due to a decrease in the working depth.

Application of a wear-resistant coating on the surface of disk operational units increases wear resistance on sandy loam and sandy soils more significantly than on loamy and clay soils (Table 5). This is also due to different mechanisms of abrasive surface wear: on sandy and sandy loam soils, the process of micro-cutting prevails, while on other types of soils, the process of polydeformation destruction of the metal surface prevails.

T-620 electrodes (Table 6) have proven to be the best for increasing the wear resistance of disk operational units, as they are designed for surfacing parts that operate under

conditions of abrasive wear with moderate shock loads. Tillage machines operational units hardened with M-Fe 6 electrode had the lowest wear resistance.

It should be emphasized that the use of disc operational units made of expensive 28MnB5 boron-containing steel has a significant effect on increasing wear resistance only on clay and loamy soils. Operation of disk tillage machines on sandy loam and sandy soils using operational units made of 28MnB5 steel does not produce a positive effect.

The area and volume of the applied wear-resistant coating has a significant impact on increasing the durability of the operational units of tillage machines (Fig. 8).

It should be emphasized that as a result of hardening (one layer of wear-resistant coating), the durability of disc operational units increases by 1.28...1.41 times on sandy loam soils, by 1.11...1.24 times on loamy soils, and by 1.07...1.18 times on clay soils.

The second layer of wear-resistant coating increases the durability of the tillage machines operational units:

- by 13.1% when operating on sandy loam soil;
- by 9.3% when operating on medium loam;
- by 7.1% when operating on light clay.

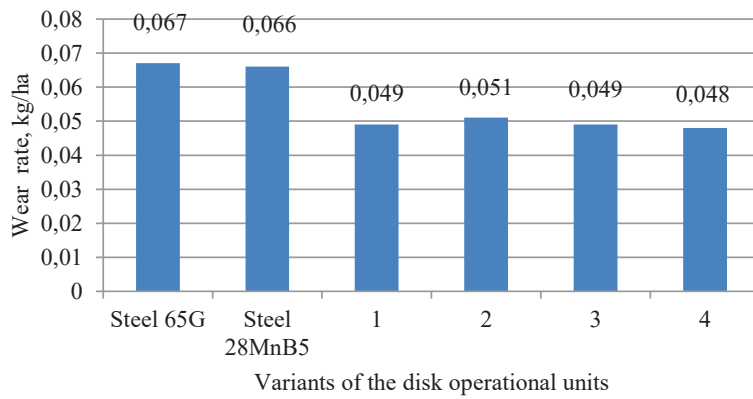
As is well known, two limit states are possible during the operation of disk operational units:

- bluntness of the blade;
- reduction of the outer diameter.

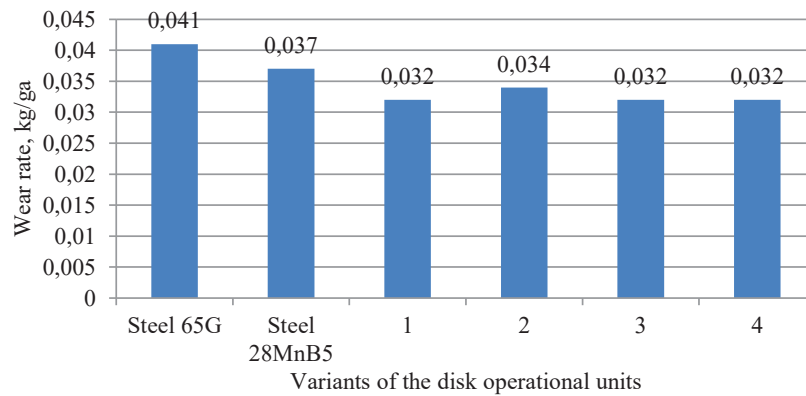
In the first case, the operational units are sharpened and continue to be used, and in the second case, they are discarded. The presence of the first limit state leads to equipment downtime and increased maintenance costs. It is necessary to choose the right side and angle of sharpening to avoid the first limit state. As a result of the conducted research, recommendations for sharpening disk operational units were developed (Table 6).

An increase in soil moisture generally leads to an increase in its wear capacity. This phenomenon continues until a critical state is reached, when free water is released on the surface of the operational units. After that, the wear rate of the surface is significantly reduced, as the groundwater will act as a lubricant. It is impossible to cultivate the soil in this condition due to the failure to meet agrotechnical requirements. For all types of soils, the optimal moisture content was determined at which the wear rate on the surfaces of the tillage machines operational units is lowest (Table 7).

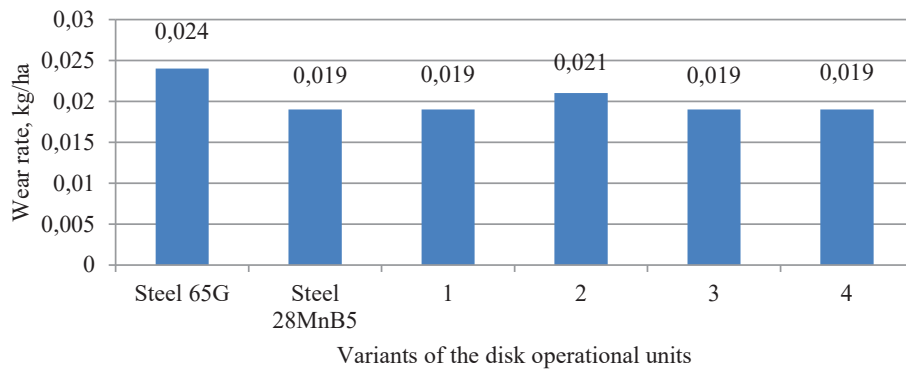




a)



b)



c)

**Fig. 7. Wear rate of series-produced and hardened (with T-590 electrode) disc operational units during the cultivation of the first 500 hectares of the field after harvesting corn for silage by the UDA-4.5 unit (variants of wear-resistant coating application 1, 2, 3, 4 are shown in Fig. 1): a – sandy loam soil; b – medium loam; c – light clay (Rogovskii, et al., 2020)**

Table 5

**Increasing the wear resistance of disk operational units of tillage machine made of 65Г steel**

| Soil        | Electrode type |             |             |
|-------------|----------------|-------------|-------------|
|             | T-620          | T-590       | M-Fe 6      |
| Sandy loam  | 1.35...1.42    | 1.31...1.39 | 1.32...1.39 |
| Medium loam | 1.24...1.35    | 1.20...1.28 | 1.19...1.25 |
| Light clay  | 1.16...1.21    | 1.14...1.26 | 1.13...1.21 |

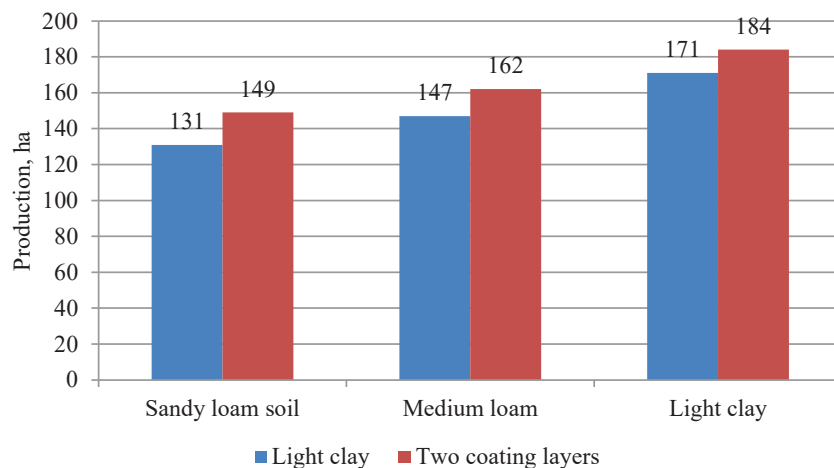


Fig. 8. Production time of the operational units of the УДА-4.5 unit to the limit state (coating scheme No. 4, hardening with T-590 electrode)

Table 6

**Necessary geometric parameters of the disk tillage machines operational units to ensure their increased durability**

| Soil                 |                   | Radius of the disk curvature, $R$ | Angle of sharpening                                  |                 |
|----------------------|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------|
| Clay                 | Heavy             | $R = (D / 2) \sin \alpha$         | Outer 10°...20°                                      |                 |
|                      | Medium            |                                   |                                                      |                 |
|                      | Light             |                                   |                                                      |                 |
| Loam                 | Heavy             |                                   | Outer 10°...20°                                      |                 |
|                      | Medium            |                                   |                                                      |                 |
|                      | Light             |                                   |                                                      |                 |
| Sandy loam and sandy | Heavy             |                                   | With hardening, the internal sharpening is 28°...34° | Outer 10°...20° |
|                      | Sandy loam        |                                   |                                                      |                 |
|                      | Consolidated sand |                                   |                                                      |                 |
| Free sand            |                   |                                   |                                                      |                 |

Table 7

**Soil moisture that ensures the lowest wear rate**

| Soil                 |                   | Humidity, % |
|----------------------|-------------------|-------------|
| Clay                 | Heavy             | 13...17     |
|                      | Medium            |             |
|                      | Light             |             |
| Loam                 | Heavy             | 13...17     |
|                      | Medium            |             |
|                      | Light             |             |
| Sandy loam and sandy | Heavy             | 10...11     |
|                      | Sandy loam        | 9...10      |
|                      | Consolidated sand |             |
| Free sand            |                   | 7.8         |

An increase in the speed of movement of the tillage machines operational units relative to the soil leads to an increase in the wear rate. It is necessary to keep the speed of the machine to a minimum to ensure increased wear resistance. This is impossible in the actual operating

conditions of tillage machines, as it can lead to non-compliance with the agrotechnical requirements for the technological operation. Also, reducing the speed will decrease the machine productivity and make it difficult to perform the operation within tight agrotechnical deadlines.

After harvesting crops, nutrient residues remain on the soil surface, which, when interacting with the tillage machines operational units, can release juices that will intensify the process of abrasive wear. Soil cultivation should be performed at the lowest moisture content of nutritious crop residues.

Multifunctional capabilities of the center hoes have led to the development of a large number of their designs that differ in the specifics of wear. Wear process of the cultivator hoes is characterized by high rate due to direct contact with a complex abrasive mass – soil.

The main reason for the loss of the working condition of the center hoes is the wear of the plow-point and wings in width (Fig. 9, a). Other rejected indicators are also possible (wing breakage, wear of the fastening part (Fig. 9, b), cracks, etc.). Despite the fact that the center hoes are symmetrical operational units, uneven wear of the wings is possible (Fig. 9, a) due to improper adjustment of the unit.

The surface wear is not uniform during the cultivating hoes operation. The hoe plow-point is subjected to the greatest load, and therefore the wear rate of the plow-point will be higher than of the other parts of the center hoe. If the cultivator hoes are made of 65Г, 70Г steel with the same physical and mechanical properties of the material throughout the operational unit, the hoe is rejected due to premature plow-point wear. As a result of wear, the thickness of the plow-point decreases and its strength decreases. This leads to bending and breaking of the tip (Fig. 10).

It is well known that three groups of methods can improve the durability and wear resistance of machine parts: structural, technological and operational. As a result of generalizing the information on the problem of increasing the durability of center hoes, it was concluded that more than 90% of the research works are devoted to technological methods of increasing the durability of cultivator center hoes (Kozachenko, 2017), about 8% – to structural and about 2% – to operational methods. The works, devoted to constructive methods, consider them in conjunction with technological methods.

Analysis of research on improving durability and wear resistance showed that all of them are aimed at solving a specific local problem and do not systematically address the issue of improving durability. The problem of increasing the durability of cultivator center hoes shall be solved in a comprehensive manner with the development of technological and design methods. These methods will be based on the soil and climatic conditions of operation, as well as apply scientifically sound operating methods. To implement a comprehensive approach, it is necessary to study the impact of all relevant factors on the durability of cultivator center hoes (material and method of tine reinforcement, soil type and condition, and operating conditions).

Research of the wear characteristics and durability of the center hoes was conducted on three types of soils during 2015-2018. "John Deere 2210" cultivator with a floating hitch was used for this purpose. (Fig. 11).



**Fig. 9. Reasons for the loss of the working condition of the center hoes: a – plow-point and wing wear in width (on the example of a new and worn hoe); b – wear of the fastening part**



**Fig. 10. Cultivator plow-point after bending and breaking off**



**Fig. 11. Used “John Deere 2210” cultivator**

Operational units of the cultivator were made of wear-resistant boron-containing steel 28MnB5 and steel 65Г with different hardening options (Table 8). Steel 28MnB5 (analogous to 27MnB5) was chosen for the research because it is used by world leaders in agricultural engineering for the production of arrow tines and has increased resistance to abrasive wear (Kovalchuk et al., 2015).

The center hoes, made of 28MnB5 steel, were operated without changing the physical and mechanical properties provided by the manufacturers. The cultivator's operational units, made of 65Г steel, were subjected to bulk hardening at a temperature of 810...830 °С and medium tempering with very precise holding at a temperature of 460...480 °С. The wear-resistant layer was applied to the front side; its width on the center hoe was 2.5 to 3 times wider than on the wings of the arrowhead. The application was performed by manual arc welding in the conditions of the repair bases of agricultural enterprises as per the scheme presented in (Borak, 2021).

Since the operational units change their length and width in the process of wear in the soil, the rate of massive wear was determined to objectively assess the wear resistance of the hoes at 10 hectares of production per hoe (Fig. 12).

The wear resistance of the cultivator center hoes made of 28MnB5 steel is 18% higher than that of center hoes made of 65Г steel when operating on sandy loam soils, 23% higher when operating on loamy soils, and 57% higher when operating on light clay. Applied protective coatings significantly increase the wear resistance of the cultivator hoes. In particular, as a result of applying a layer with the T-620 electrode, the wear resistance increases by 29...32 %, with the T-590 electrode – by 25...32 %

and with M-Fe 6 – by 15...29 %. Due to the wear of the wear-resistant coating, the wear rate was equal to that of a series-produced center hoe.

It should also be noted that the wear rate of the center hoes in the first row is 14.5...21.2 % higher than the wear rate of the center hoes in the second row. This is due to a decrease in the degree of fixation of abrasive particles as a result of partial loosening of the soil layer. An increase in the wear rate by 24.2...38.4% was observed in the center hoes working in the wake of a mobile power vehicle and an agricultural machine. All of these reasons shall be considered when installing center hoes on a cultivator to ensure machine stability.

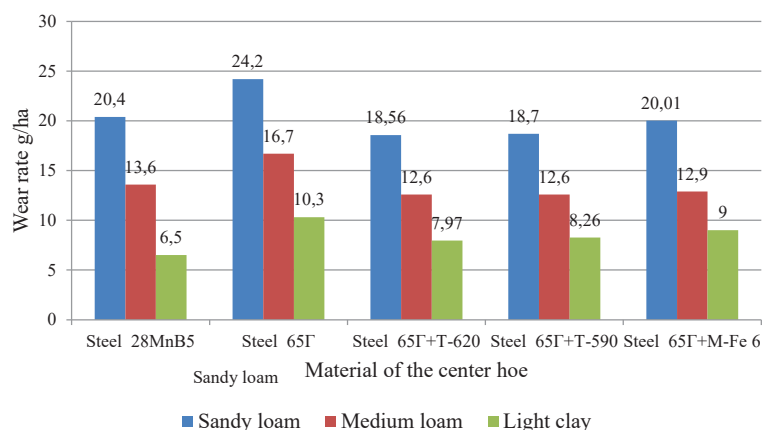
An increase in the speed of the tillage unit leads to an increase in the wear rate (Borak, 2021). In order to identify the regularity of the influence of the tillage machine speed on the abrasive wear process rate, wear of the center hoes at different machine speeds were researched: 8 km/h, 10 km/h, and 13 km/h (the boundaries of the research are regulated by the technical characteristics of the John Deere 2210 cultivator). The research was performed on sandy loam soils. Production was 10 hectares per hoe. As a result, it was found that there was no effect of changing the speed of the unit on the wear rate. Slight increase in the machine speed is due to the absence of impact.

The tests showed that wing breakage and other mechanical damage occurred only during operation on sandy loam soils in all experimental samples, except for the center hoes made of 28MnB5 steel. Mechanical damage is caused by a large number of stony inclusions in the soil. Damaged center hoes were not considered when calculating their durability (Fig. 13).

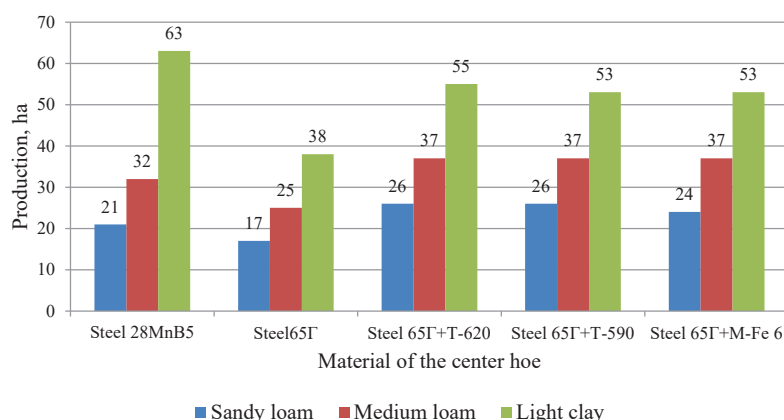
Table 8

**Operational units used during the research**

| Tillage machine            | Soil type       | Operational unit   | Material of operational units + wear-resistant coating |
|----------------------------|-----------------|--------------------|--------------------------------------------------------|
| John Deere 2210 cultivator | Sandy loam soil | 15/5000 center hoe | 28MnB5                                                 |
|                            |                 |                    | 65Г                                                    |
|                            | 65Г+T-620       |                    |                                                        |
|                            | 65Г+T-590       |                    |                                                        |
|                            | 65Г+M-Fe 6      |                    |                                                        |
|                            | Medium loam     |                    |                                                        |
|                            | Light clay      |                    |                                                        |



**Fig. 12. Wear rate of the John Deere 2210 cultivator center hoes (10 hectares of production per hoe)**



**Fig. 13. Durability of the center hoes**

The use of a center hoe made of high-quality 28MnB5 boron-containing steel has increased its durability compared to a center hoe made of 65Γ steel by 24% when operating on sandy loam soils, 28% on medium loam, and 66% on light clay.

It should be noted that the durability of cultivator hoes made of 28MnB5 steel is higher than the durability of reinforced cultivator hoes during operation on clay soils. When using cultivator tines on sandy loam and medium loamy soils, the hardened hoes have a higher durability compared to tines made of 28MnB5 steel.

Some researches have noted that applying a layer on the back side promotes self-sharpening and increases the service life of the center hoe by 18% compared to applying a wear-resistant layer on the front side. Tests have shown that the durability of cultivator hoes with a wear-resistant layer applied on the back side is higher than the durability of cultivator hoes with a wear-resistant layer on the front side, during operation on clay soils only. This increase was within the statistical margin of error and amounted to 2.8%. When operating such hoes on sandy loam and loamy soils, as a result of rapid wear of the base material, we observed the protrusion of the hardened layer, which broke off during interaction with hard soil elements. The durability of such hoes turned out to be 1.6...1.9 times less than the durability of series-produced hoes.

The ratio of the geometric parameters of the wear-resistant layer applied to the plowpoint and wings of the center hoe should be based on the ratio of the wear rate of these parts. The ratio of wear rate of the plow-point and wings of the center hoe was determined on a series-produced hoe made of 65Γ steel (Table 9).

The results of Table 10 make it possible to determine the scheme for applying wear-resistant coatings to the center hoes, considering the soil conditions of their operation. During the operation of the hoes on clay and medium loamy soils, the wear-resistant layer should be 2.5 times wider and thicker than the layer applied to the hoe wings. On sandy loam soils, the geometric dimensions of the wear layer on the plow-point and wings should have a ratio of 1.25/1. Such ratios can be achieved not only by applying wear-resistant coatings, but also by installing a removable tip on the plow-point of the center hoe.

The degree of abrasive particle adhesion in the soil significantly affects the ratio of wear rate of the plow-point and wings of the center hoe. Research of the influence of the fixation degree of abrasive particles in the soil on the wear rate of the plow-point and wings was performed on sandy loam soils with different fixation degrees of abrasive particles: a plot after harvesting winter wheat; a plot after harvesting winter wheat and plowing (the day after plowing); a plot after harvesting winter wheat and plowing (48 days after plowing).



Table 9

**Ratio of plow-point and wing wear rate of cultivator hoes (production per hoe – 10 ha, field after rape)**

| Place of measurements                              | Wear rate mm/ha |             |            |
|----------------------------------------------------|-----------------|-------------|------------|
|                                                    | Sandy loam      | Medium loam | Light clay |
| Plow-point                                         | 0.85            | 0.57        | 0.37       |
| Wings                                              | 0.68            | 0.23        | 0.15       |
| Correlation between plow-point and wing wear rates |                 |             |            |
| Plow-point/wings                                   | 1.25            | 2.48        | 2.46       |

Table 10

**Correlation of wear intensity of the plow-point and wings of the center hoe in sandy soil conditions with different degrees of abrasive particle fixation**

| Research conditions                                                    | Correlation between plow-point and blade wear rates |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Plot after harvesting winter wheat                                     | 1.28                                                |
| Plot after harvesting winter wheat and plowing (the day after plowing) | 1.08                                                |
| Plot after harvesting winter wheat and plowing (48 days after plowing) | 1.21                                                |

The research results are presented in Table 10.

If cultivators are used only for secondary tillage (after plowing), the wear rate of the plow-point and wings will differ by only 8%, which must be considered when strengthening the center hoes.

During operation, it is important that the center hoes are self-sharpening to ensure that the cultivation operation is performed efficiently. The ratio of the thickness of the wear-resistant coating and the base metal can be determined using the results presented above and the methodology developed by A. S. Rabinovich.

Wear characteristics and proposed ways to increase the durability and wear resistance of plowshares were researched on three types of soils during 2015-2018 at agricultural enterprises in Zhytomyr and Vinnytsia regions. The tillage machines and operational units, used in the research, are presented in Table 11.

Research involved series-produced plowshares made of Л53 and Nardox 500 steel. Tests were conducted without changing the physical and mechanical properties provided by the manufacturers. Plows, made of 65Г steel, were subjected to bulk hardening at a temperature of 810...830 °C

and medium tempering with very precise holding at a temperature of 460...480 °C.

The scheme of applying a wear-resistant coating for plowshares, during operation on different types of soils, should differ significantly based on the ratio of wear resistance of the blade and nose parts of the plow (Fig. 6, a), in contrast to series-produced plowshares, where the reinforcement is performed along the entire length with the same thickness (Fig. 6, b). Previous researches have shown that the hardening of series-produced plowshares leads to rapid wear of the plow-point and loss of the ability to penetrate the soil, and therefore it is replaced with an unused blade part (Borak, 2020).

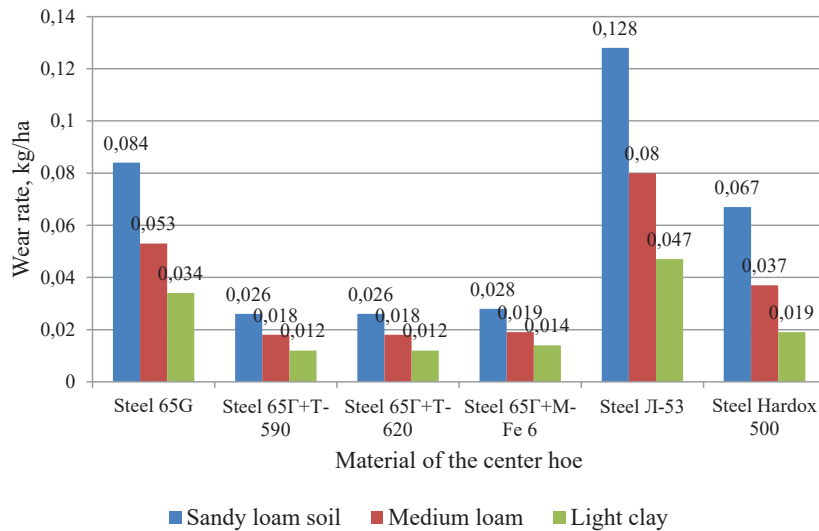
The results of wear resistance researches of series-produced and hardened plowshares are shown in Fig. 14.

It was found that the use of Nardox 500 steel for the manufacture of tine and plowshare operational units is more efficient when operating on clay soils. The wear resistance of plowshares made of this steel is higher than the wear resistance of plowshares made of 65Г steel, by 26% during operation in sandy loam soil, by 43% during operation in loamy soil, and by 82% during operation in light clay (Fig. 16).

Table 11

**Operational units of plows used in the research**

| Operational units of plows used in the research |                                                  |                                     |                                                                    |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Tillage machine                                 | Soil type                                        | Operational unit                    | Material of the operational unit + applied wear-resistant material |
| ПЛН-3-35                                        | 1. Sandy loam<br>2. Medium loam<br>3. Light clay | Plowshare                           | 65Г                                                                |
|                                                 |                                                  |                                     | 65Г+T-620                                                          |
|                                                 |                                                  |                                     | 65Г+T-590                                                          |
|                                                 |                                                  |                                     | 65Г+M-Fe 6                                                         |
|                                                 |                                                  |                                     | Hardox 500                                                         |
|                                                 |                                                  |                                     | Л53                                                                |
| Plow “Kverneland”                               |                                                  | Plowshare (with replaceable chisel) | 65Г                                                                |
|                                                 |                                                  |                                     | Hardox 500                                                         |
| Plow “Diamant 11”<br>manufactured by Lemken     |                                                  | Plowshare (with replaceable chisel) | 65Г                                                                |
|                                                 |                                                  |                                     | Hardox 500                                                         |



**Fig. 14. Wear resistance of ПЛН-3.35 plow plowshares (production of 4 hectares per operational unit)**

High efficiency in plowing sandy loam and loamy soils is provided by plowshares with a wear-resistant coating applied by manual arc surfacing with T-620 and T-590 electrodes (Table 12).

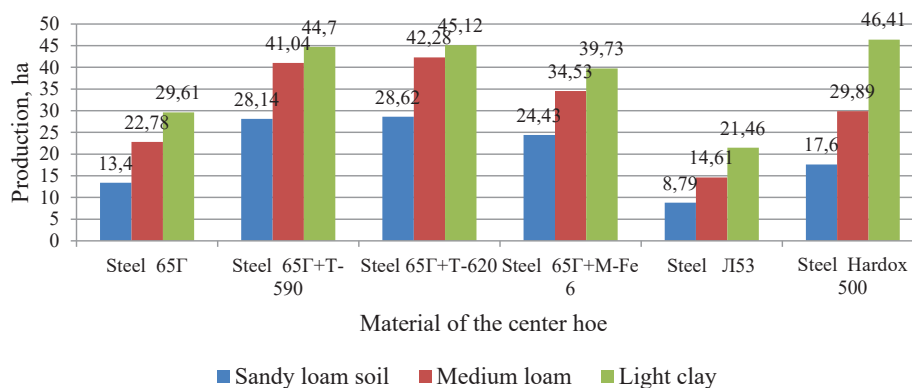
Despite such a significant increase in the wear resistance of arc hardened plowshares at the initial stages of operation, their durability does not increase significantly (Fig. 15). This is primarily due to the intensification of abrasive wear on the surface of the operational units after the wear-resistant coating is worn off.

The use of series-produced plowshares made of Nardox 500 steel allows to increase the durability by 1.31...1.49 times compared to series-produced plowshares made of 65Г steel, and by 2...2.14 times compared to plowshares made of L53 steel. A more significant increase in the durability of plowshares made of Nardox 500 steel was observed during operation on light clay compared to operation on sandy loam and loamy soils. It should be noted that the durability of plowshares made of Nardox 500 steel is higher than that of hardened plowshares when working on clay soils, and vice

Table 12

**Increasing the wear resistance of plowshares made of 65Г steel (ПЛН-3-35 plow, production is 4 hectares per one plowshare)**

| Soil        | Electrode type |             |             |
|-------------|----------------|-------------|-------------|
|             | T-620          | T-590       | M-Fe 6      |
| Sandy loam  | 3.20...3.33    | 3.21...3.32 | 2.95...3.07 |
| Medium loam | 2.85...2.87    | 2.84...2.85 | 2.64...2.71 |
| Light clay  | 2.77...2.82    | 2.78...2.83 | 2.41...2.50 |



**Fig. 15. The average service life of the plowshares ПЛН-3.35**

versa on sandy and sandy loam soils. This, in turn, is due to the different ratio of the wear rate of the plow-point and the plow blade during operation on different soil types (Table 13).

The data in Table 14 make it possible to determine the scheme of applying a wear-resistant coating for plowshares, considering the soil and climatic conditions of their operation. Applying a wear-resistant coating only to the toe of the plowshare will significantly increase its durability during operation of plowshares in loamy and clay soils. On sandy soils, it was found that it is necessary to change the plow-point and blade at the same time.

The results of theoretical researches confirm that the degree of abrasive particles fixation in the soil can significantly affect the ratio of the wear rate of the blade and the plow-point of the plowshare. To confirm or refute this statement, researches were conducted on sandy loam soil with three different degrees of abrasive particle consolidation:

- 1) Plot after winter wheat;
- 2) Plot after winter wheat, repeated plowing on the 7th day after the first cultivation;
- 3) Plot after winter wheat, repeated plowing on the 74th day after the first cultivation.

The research results are given in Table 14.

The change in the ratio of the wear rate of the blade and the plow-point of the plowshares is due to the fact that the blade will interact with the landside in all processing options and the degree of fixation of abrasive particles will not change, unlike the abrasive particles with which the plow-point of the plowshares interacts. An increase in the wear rate of the blade part of the plowshare was observed on all types of soils. It is necessary to strengthen the blade part primarily to increase its durability when processing loose soils of all types.

The ratio of the thickness of the wear-resistant and bearing layers should ensure self-sharpening conditions with no possibility of a hard layer protrusion. Protrusion of the hard layer will cause it to break off. Thickness of the

wear-resistant layer should be calculated as per the method proposed in (Borak, 2021).

The use of plowshares with replaceable chisel significantly increases their durability by replacing the chisel during operation. During the period of operation of such plowshares, from 2 to 4 chisel replacements can occur, as the wear rate of the plowshare nose significantly exceeds the wear rate of the blade. In addition, it should be noted that in case of mechanical damage to the plow-point section, only the chisel is replaced. The use of plowshares with replaceable chisels can increase the durability of the plow by 2.3...4.4 times. A special feature is that the chisel protects the plow-point of the plowshare from wear not only along the length but also along the width of the plow-point (Fig. 16).

For plowshares with a replaceable chisel, the thickness change is wavy due to the formation of a wave of abrasive particles by the chisel as it breaks up the soil.

During the operation of plowshare operational units, unlike disc ones, no intensification of the abrasive wear process was detected in the presence of plant residues on the soil surface. Research works have shown that the difference in the wear rate of plowshares and center hoes in the presence and absence of plant residues is within the statistical error ( $\pm 3\%$ ).

An increase in the speed of the tillage machine leads to an increase in the wear rate of the operational units. It is necessary to keep the speed of the machine as low as possible to ensure increased wear resistance. This is not possible in the actual operation of tillage machines, as the productivity of the machine reduces with decreasing speed. This can lead to a failure in performing a quality operation within tight agrotechnical deadlines.

**Findings.** Research of the wear characteristics and operational tests of plowshare operational units allows us to draw the following conclusions:

- The nature and mechanism of abrasive wear depends on the type of soil, its aggregate state and operating conditions;

Table 13

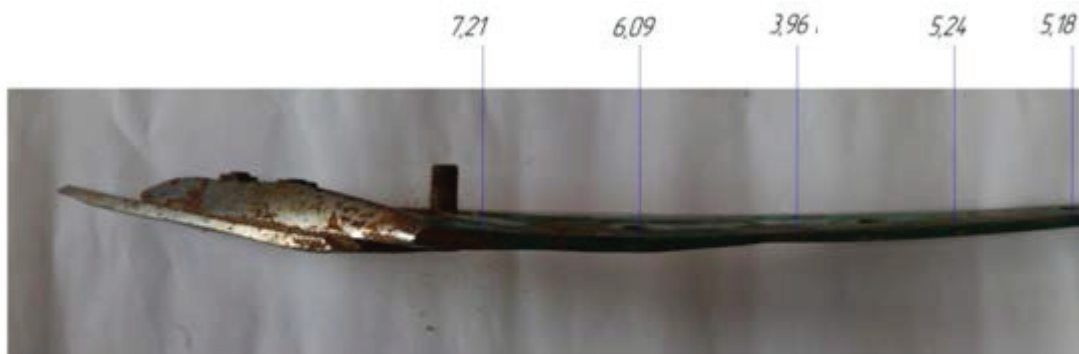
**Ratio of wear rate of the blade and nose parts for different soil types (series-produced plowshares, steel Л53, production is 4 ha per one plowshare, fields are in a post-harvest condition, after harvesting corn for silage)**

| Place of measurements                                           | Wear rate, mm/ha |             |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------------|-------------|------------|
|                                                                 | Sandy loam soil  | Medium loam | Light clay |
| Plow-point (plow-point length)                                  | 8.42             | 7.31        | 4.27       |
| Blade (blade width)                                             | 5.38             | 3.12        | 1.78       |
| Correlation between wear rate of plow-point and plowshare blade | 1.56             | 2.3         | 2.39       |

Table 14

**Ratio of wear rate of the blade and plow-point parts in sandy soil conditions with different degrees of abrasive particle fixation (processing depth in all cases – 220 mm)**

| Research conditions                                                                   | Correlation between plow-point and blade wear rates |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Plot after winter wheat                                                               | 1.49                                                |
| Plot after winter wheat, repeated plowing on the 7th day after the first cultivation  | 0.68                                                |
| Plot after winter wheat, repeated plowing on the 74th day after the first cultivation | 0.89                                                |



**Fig. 16. Changes in the thickness of a plowshare with a replaceable chisel during operation on sandy loam soils (the plowshare has exhausted its service life)**

- Application of a wear-resistant coating leads to an increase in wear resistance on all types of soils, but this is most pronounced on soils with a higher wear capacity;

- It is necessary to use plowshares with a wear-resistant coating, and on clay soils – plowshares made of high-quality wear-resistant steels on sandy and sandy loamy soils in order to increase durability;

- the presence of plant residues on the soil surface does not significantly change the abrasive wear rate of plowshare operational units (unlike disk ones);

- The ratio of the geometric parameters of the wear-resistant coating should be based on the conditions and operating modes of the plowshare operational units;

- Increasing the durability and wear resistance of the tillage machines operational units should be based on an integrated approach. This approach should use a range of technological and design methods, considering soil and climatic conditions, and implement scientifically sound operating methods.

Wear of the disk tillage machines operational units is complex (different mechanism and nature of abrasive wear

on the surface of the operational units, the occurrence of related wear processes and the possibility of switching to impact abrasive wear of the surface). Problem of increasing the wear resistance and durability of the tillage machines operational units that interact with the soil environment cannot be solved by just using technological methods to increase wear resistance and durability. To achieve this goal, it is necessary to apply an integrated approach, that includes the development of technological and design methods to increase wear resistance and durability, considering soil and climatic conditions, and the introduction of scientifically sound methods of tillage machinery operation.

As per the wear characteristics of plowshare and disk operational units, schemes of wear-resistant coating application have been developed to increase their durability and wear resistance, considering the operating conditions and modes of operation. It has been established that the application of a wear-resistant coating is more effective during the operation of operational units on soils with a higher wear capacity (sandy and sandy loam soils).

#### **References:**

1. Aulin, V. V., & Tykhyi, A. A. (2017). Trybofizychni osnovy pidvyshchennia znosostiikosti i nadiinosti robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn z rizalnymi elementamy. [Tribophysical bases for increasing the wear resistance and reliability of tillage machines with cutting elements]. Kropyvnytskyi : Lysenko V. F. 278. (in. Ukrainian).
2. Bobrytskyi, V. M. (2007). Pidvyshchennia znosostiikosti rizalnykh elementiv robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn. [Increasing the wear resistance of cutting elements of tillage machines' working bodies] : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.04 / Kirovohradskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet. Kirovohrad. 182. (in. Ukrainian).
3. Borak, K. V. (2013). Pidvyshchennia znosostiikosti robochykh orhaniv diskovykh gruntoobrobnykh znariad metodom elektroeroziinoi obrobky. [Improve of wear-resistance of working organs of disk tillage tools by the method of electrical erosive processing] : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.04 / Zhytomyrskiy natsionalnyi ahroekologichnyi universytet. Zhytomyr, 217. (in. Ukrainian).
4. Borak, K. V. (2020). Uplyv koefitsiienta formy abrazyvnykh chastynok gruntu na intensyvniat znozhuvannia robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn. [Influence of the shape coefficient of soil abrasive particles on the wear rate of tillage machines.]. Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. №1. URL : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/artide/view/591/558>. (in. Ukrainian).
5. Borak, K. V. (2021). Kompleksnyi pidkhid pidvyshchennia dovhovichnosti ta znosostiikosti robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn [Integrated Approach to Service Durability and Wear Resistance Enhancement of the Working Tools of Tillage Machines] : dys. ... d-ra. tekhn. nauk : 05.05.11 / Poliskiy natsionalnyi universytet, m. Zhytomyr. 380. (in. Ukrainian).
6. Hevko, R. B., Tkachenko, I. H., & Pavkh, I. I. (2005). Mashyny silskohospodarskoho vyrobnytstva. [Agricultural production machines]. Ternopil. 228. (in. Ukrainian).
7. Kadenko, V. S. (2017). Pidvyshchennia znosostiikosti lap kulyvatoriv obgruntuvanniam formy ta parametriv lokalnoho

zmitsnennia leza. [Improving the wear resistance of cultivator tines by substantiating the shape and parameters of local blade strengthening]. : dys. . kand. tekhn. nauk : 05.02.04 / Kharkivskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet im. P. Vasylenka. Kharkiv. 192. (in. Ukrainian).

8. Kovalchuk, Yu. O., Didur, V. V., & Nevzorov A. V. (2015). Hlybyna ta mikrotverdist zmitsnenoho lazerom sharu stali 65H dlia pidvyshchennia znosostiikosti robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn. [Hlybyna ta mikrotverdist zmitsnenoho lazerom sharu stali 65H dlia pidvyshchennia znosostiikosti robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya : Tekhnika ta enerhetyka APK. №. 226. pp. 295-301. (in. Ukrainian).

9. Kozachenko, O. V., Shkrehal, O. M., Kadenko, V. S., & Blezniuk, O. V. (2017). Polovi vyprobuвання udoskonalenykh kultyvatornykh lap. [Field tests of improved cultivator tines.]. Tekhnichnyi servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv. Kharkiv, № 15. pp. 31-39. (in. Ukrainian).

10. Morris, N. L., Miller, P. C. H., & Orson, J. H., Fraud-Williams, R. J. (2010). The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment. A review. Soil & Tillage Research. № 108. P. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.stin.2010.03.004>.

11. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.

12. Salo, V. M., Leshchenko, S. M., Luzan, P. H., Machok, Yu. V., & Bohatyrov, D. V. (2016). Mashyny dlia obrobittu gruntu ta vnesennia dobryv. [Machines for tillage and fertilization]. Kharkiv : Machulin. 244. (in. Ukrainian).

13. Sysolin, P. V., Salo, V. M., & Kropivnyi, V. M. (2001). Silskohospodarski mashyny: teoretychni osnovy, konstruktsiia, proektuvannia: Kn. 1 : Mashyny dlia rilnytstva. [Agricultural machines: theoretical foundations, construction, design: Book 1 : Machines for agriculture]. Kyiv : Urozhai, 384 (in. Ukrainian).

14. Tesliuk, H. V., Volyk, B. A., Sokol, S. P., Kobets, O. M., & Semeniuta A. M. (2016). Gruntoobrobni ahrehaty na osnovi dyskovykh robochykh orhaniv : monohrafiia. [Gruntoobrobni ahrehaty na osnovi dyskovykh robochykh orhaniv]. Dnipropetrovsk : Aktsept P.P., 143. (in. Ukrainian).

15. Tylczak, J.H. (1992). Abrasive wear. ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International, 18, 184-190.

**Борак К. В.**, доктор технічних наук, доцент, Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир, Україна

**Куликівський В. Л.**, кандидат технічних наук, доцент, Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

**Боровський В. М.**, старший викладач, Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

**Пилипович М. М.**, здобувач освіти, Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

#### **Підвищення надійності робочих органів ґрунтообробних машин**

ґрунтообробні машини займають одне з провідних місць у структурі машинно-тракторного парку сучасних аграрних підприємств. Утрата їх працездатного стану під час проведення польових робіт може суттєво вплинути на урожайність сільськогосподарських культур. У ґрунтообробних машинах елементом, який переважно лімітує довговічність машин, є робочий орган. Вирішення проблеми підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин не може базуватися на використанні одного з наявних методів (технологічного, конструктивного та експлуатаційного), а повинно ґрунтуватися на системному підході з використанням усього спектру доступних методів. У процесі реалізації системного підходу необхідно врахувати всі істотні чинники, які впливають на довговічність і зносостійкість робочих органів. В роботі встановлено, що нанесення зносостійкого покриття дає можливість підвищити довговічність робочих органів ґрунтообробних машин: для зміцнених дискових робочих органів при експлуатації їх на супіщаних ґрунтах довговічність підвищується в 1,28–1,41 рази, на суглинках – в 1,11–1,24 рази та на глинистих ґрунтах – в 1,07–1,18 рази; для зміцнених стрілочастих лап при експлуатації їх на супіщаних ґрунтах довговічність підвищується в 1,41–1,53 рази, на суглинках – в 1,48 рази та на глинистих ґрунтах – в 1,39–1,44 рази; для зміцнених лемешів при експлуатації їх на супіщаних ґрунтах довговічність підвищується в 1,82–2,13 рази, на суглинках – в 1,5–1,85 рази та на глинистих ґрунтах – в 1,34–1,52 рази. Отже, нанесення зносостійкого покриття на робочі органи ґрунтообробних машин більш ефективно на ґрунтах, які мають вищу зношувальну здатність (супіщані та піщані). Виявлено закономірності впливу ґрунтово-кліматичних умов, режимів експлуатації та способів зберігання на довговічність і зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин. На основі експериментальних даних та теоретичних досліджень розроблено науково обґрунтовану систему експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин. Сформульовано основні принципи підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин комплексним підходом адаптації їх зносостійкості з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов та режимів експлуатації, які дозволяють підвищити довговічність робочих органів ґрунтообробних машин в 1,84–2,51 рази в залежності від типу робочих органів та ґрунтово-кліматичних умов.

**Ключові слова:** абразивний знос, ґрунтообробні машини, тип ґрунту, експлуатаційний агрегат, виробництво, довговічність, зносостійкість.



## AUTOMATION OF ELECTRIC AUTOCLAVE CONTROL

**Savchenko Maryna Yuriivna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
 Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
 ORCID: 0000-0002-8498-3272  
 marina.savchenko-pererva@snau.edu.ua

**Radchuk Oleh Volodymyrovych**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
 Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
 ORCID: 0000-0002-8228-2499

**Golovach Ihor Viktorovych**

Head of the Laboratory  
 Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
 ORCID: 0009-0009-5245-0963  
 golovach2013@gmail.com

*The article analyzes the use of an electric autoclave with the proposed system of automated control of the technological process in the conditions of a small enterprise or a small workshop of a restaurant establishment. An analysis of the implementation of the technological process of sterilization of canned goods in an electric autoclave was carried out on the created automated stand for controlling the electric autoclave under the name "Stand for automatic control and management of technological parameters of thermal equipment". Option of the modes of operation of the programmable logic controller OWEN PR200 with an electric autoclave are considered. The principle of operation of an electric autoclave in an electric circuit diagram with a programmable logic controller is given. The procedure for connecting sensors and their types, which participate in determining the parameters of a given technological process are considered. It was determined that the initial option, which is responsible for the beginning of research, is option №1, and the number of options is 18, which are programmed for specific values of the given technological process in the memory of the programmable logic controller. Methods of controlling the electric autoclave were defined directly through the display of the programmable logic controller or through the installed informative SCADA program on a personal computer. It has been previously established that the SIMP Light ENT SCADA system provides access via a local network or via the Internet to current and archived data of the technological process. It has been investigated that procedure for starting the SIMP Light ENT SCADA program is given the channel editor, checking the channel settings, selecting the desired COM port, starting test channels, the mnemonic editor, and starting the monitor. It has been experimentally proven that the heating of an electric autoclave is started either directly by a programmable logic controller or by a personal computer with a SCADA program. It has been investigated that the electric autoclave is heated during the time specified by the technological process to the specified parameters. It was determined that the parameters set by the technological process correspond to the values of the resistance thermometer and the pressure sensor for the corresponding technological process, to according option is No. 13 – sterilization of canned meat. Voltage fluctuations and non-stationarity of technological parameters within 2% were analyzed, which is associated with typical features of a programmable logic controller regulator, but the indicated indicators are within the norm.*

**Key words:** technological parameters, electrical equipment, operating modes of sterilization of canned meat, technological process, PLC automation, food product.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.2>

**Introduction.** The food industry plays an important role in meeting the needs of consumers by supplying raw and processed food products (Fauziah et al., 2020; Munirah et al., 2021). The food industry is now using cost-effective and profitable automation solutions (Chandrasiri et al., 2022) to achieve higher production volumes than the food industry using manual process control systems (Mishachev et al., 2020). Robotic processing and manufacturing are more popular now that the abandonment of manual labor is considered as a concept (Mokrushin, 2022). The food industry is more compatible with automation systems than any other industrial sector (Gordon, 2020). Automation is a technology related to the application of mechanical,

electronic and computer systems for the management and control of production. Automation of control systems has revolutionized the food industry, enabling faster and more efficient production processes. As the demand for food products increases (Meshram et al., 2019), manufacturers are increasingly turning to automated production process controls to increase productivity, reduce production costs, and improve safety and quality standards. Overseas, the food industry is an important sector of the economy, generating over \$2 trillion in sales in 2020, and that's just in beverages. The use of automation in the food production process has a number of advantages (Malaka, & Maruddin, 2020). Automated technological process management



systems (ATPMS) reduce the risk of human errors, reduce the level of contamination of the technological process, and ensure compliance with food safety standards. Automatic control systems allow manufacturers to maintain stable product quality, minimize production waste, increasing its efficiency (Radchuk & Savchenko-Pererva, 2023). Also, automation technologies help reduce labor costs, allowing manufacturers to invest free money in other areas of their business (Savchenko-Pererva, 2022; Savchenko-Pererva & Radchuk, 2021).

Today's advances in automation technology lead to the development of competitive intelligent systems that can learn and adapt to different situations, increasing the efficiency and effectiveness of production processes.

Today, robots and automatic processes are considered an integral part of industry. Supply chain efficiency has become a priority for the food industry as it is a critical step in handling and managing actual demand rather than forecasted demand (Kalantzis & Revoltella, 2019; Nam & Chung, 2020). The automation system is mainly driven by the competitive success and safety of the food industry or manufacturing enterprise. The most valuable advantage of the automation system is the improvement of labor productivity, product quality and profitability (Kumar et al., 2020).

This article examines the impact of automation on the process of manufacturing canned food products, which controls the progress of the production process (Alvarenga et al., 2018).

Autoclaves play a key role in food storage and preservation processes, helping to ensure the safety and extend the shelf life of a variety of food products (Stier, 2019).

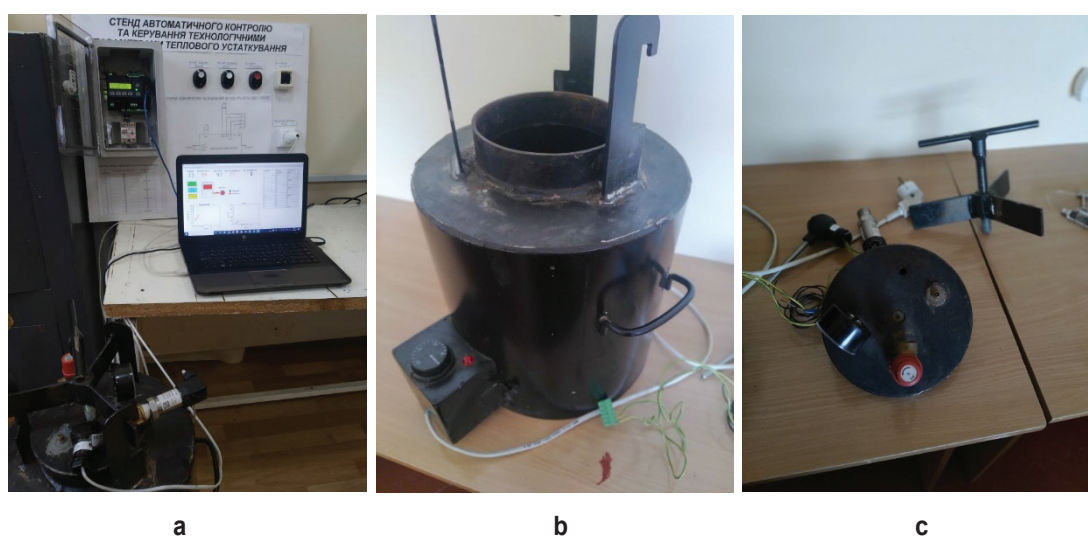
Autoclaves are commonly used in the canning industry to sterilize closed food cans (Triana et al., 2020). Jars filled with food products and sealed with lids are treated with high-pressure steam in autoclaves (Hartulistiyo &

Akmal, 2020). This process effectively kills bacteria, mold, yeast and other microorganisms, preventing spoilage and ensuring long-term food preservation (Wang et al., 2019). Autoclaves using high-pressure steam are widely used in large and medium-sized processing enterprises. For small enterprises, the use of steam is economically expensive and therefore autoclaves with electric heating are used. Such autoclaves are also subject to automation, which significantly affects the quality of finished products and prevents the negative influence of the human factor on the technological process.

**Materials and methods of research.** Conducting research on the automation of equipment for sterilization of canned food was carried out with the help of a special laboratory stand, Fig.1a.

This stand includes an electric autoclave and a technological process control and automation unit. Let's consider the components of the stand in more detail. The electric autoclave consists of a body, which is presented in Fig.1b, a cover with devices and a device for hermetic closure, Fig.1c.

The body of the autoclave is equipped with electric heaters for heating cans with canned food. The electric curtains used in the laboratory stand have a power of 2.2 kW and a nominal voltage of 50 Hz and 220 V. The tanks are located in the lower part of the autoclave and separated from the other part by a special perforated metal partition. Water moves freely through the perforation of this partition. This partition is used to install cans with canned food on it, which must be subjected to the sterilization process. Capacity of the laboratory stand: 8 cans of 0.5 liters or 5 cans of 1.0 liters. In the upper part of the autoclave body there is a neck, on which the cover is installed and with the help of a device for hermetic closure, the internal environment of the autoclave is sealed. A rubber seal is placed between the cover and the neck for reliable sealing of the connection. The device for hermetic closure is a screw with a handle that engages with



**Fig. 1. A stand for conducting research on the automation of equipment for the technological process of sterilization of canned goods in an electric autoclave: a – a general view of the stand; b – body of the electric autoclave; c – the lid of the autoclave with devices and a device for hermetic closure**

a nut. The nut, in turn, has three rigidly attached elongated rectangular rods that, when the autoclave is closed, engage with three rods that are rigidly attached around the neck of the autoclave. Thus, when the screw is turned, it moves towards the neck of the autoclave body and rests against the lid, sealing the autoclave.

Devices are installed on the lid of the autoclave:

- safety valve designed for a maximum pressure of 600 kPa. This valve is used to prevent exceeding the maximum pressure inside the autoclave;
- control manometer with the maximum ability to measure pressure of 400 kPa. It is used to visualize and control the progress of the technological process;
- resistance thermometer DTS 0.1 5-50 M.V.2.80, which allows you to measure the actual temperature inside the autoclave and transmit information to the controller. The resistance thermometer has a measuring range:  $-50...+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- pressure sensor PD 100-DY 0.25-171. The maximum excess pressure measured by the sensor is 250 kPa (short-term up to 400 kPa). This sensor converts excess pressure into a unified  $4...20\text{ mA}$  direct current signal. The resistance sensor is connected to the controller and transmits real-time information about the excess pressure inside the autoclave.

Thus, the autoclave has the ability to heat up with the help of electric current and transmit the actual temperature and overpressure readings to the controller.

The unit of control and automation of the technological process of sterilization of canned goods has a programmable controller OWEN PR200 in its composition. The OWEN PR200 controller has the ability to program to execute a certain sequence of commands. In its design, it has terminals for connecting external devices, such as a resistance thermometer and an excess pressure sensor. Also, the design of the controller provides for the presence of switches that are turned on and off under certain conditions according to the program entered in the controller's memory. The controller provides a connection via a USB 2.0 port to a personal computer. Through this port, the process control program, which is created in the specialized OWENLOGIC software environment, is loaded into the controller. Controller operation is controlled using a personal computer and SIMP Light ENT special software. The technological process of sterilization of canned goods is accompanied by

a change in the temperature inside the autoclave, the form of the graph of which can be represented as a dependence of temperature  $t$ ,  $^{\circ}\text{C}$  on time  $T$ , min,  $t = f(T)$ , Fig.2.

The dependence graph  $t = f(T)$  has three zones:

- I – a zone of intense heating from the temperature of the surrounding air to the sterilization temperature of this product  $t_{st}$ . Intensive heating takes place over time from 0 to  $T_n$  – the time when the product is kept at a constant temperature;
- II – a zone of exposure to temperature  $t_{st}$  during a certain period from  $T_n$  to  $T_{ex}$ , which depends on the type of product and the size of the can in which the product is located;
- III – the cooling zone of the sterilized product.

You can control the change in temperature in the autoclave by turning on and off its electrical elements to the alternating current network. This happens with the help of a switch controlled by the OWEN PR200 controller.

The general process of conducting research on the automation of equipment for the technological process of sterilization of canned goods is as follows:

1. It is necessary to connect the autoclave with the controller, according to the automation scheme, Fig. 3.
2. In the middle of the autoclave, we install cans with canned food. Pour water into the middle of the autoclave to a level that covers the cans with a layer of at least 2 cm.
3. We connect the controller and the autoclave to the 220 V, 50 Hz alternating current network. We also turn on the personal computer, having previously connected it to the controller via the USB 2.0 port.
4. We launch the SIMP Light ENT program on a personal computer. The indicators of the technological process are displayed on the monitor screen, Fig. 4.
5. On the screen of the personal computer monitor, with the "mouse" manipulator, using the buttons "Choice option+1", "Choice option-1", "Reset", select the program number. A total of 18 programs have been developed and loaded into the OWEN PR200 controller. The programs differ among themselves in terms of the numerical value of the sterilization temperature  $t_{st}$ ,  $^{\circ}\text{C}$  and the exposure time  $T$ , min. Accordingly, it is possible to choose the sterilization temperature from the following series: 100, 110, 115, 120 and the exposure time from the series: 10, 15, 20, 30,

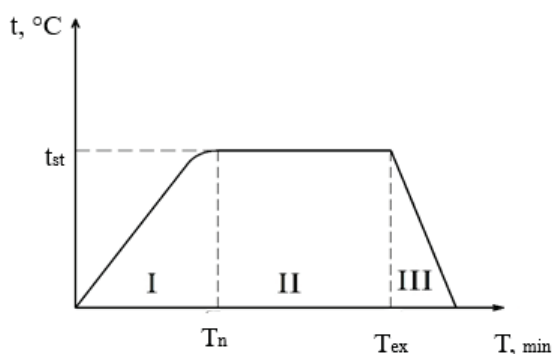


Fig. 2. Dependence of temperature  $t$ ,  $^{\circ}\text{C}$  on time  $T$ , min during sterilization of canned goods in an autoclave

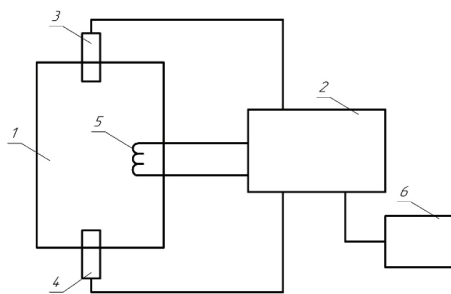


Fig. 3. Electric autoclave automation scheme: 1 – autoclave; 2 – controller; 3 – pressure sensor; 4 – resistance thermometer; 5 – electric tan; 6 – person computer

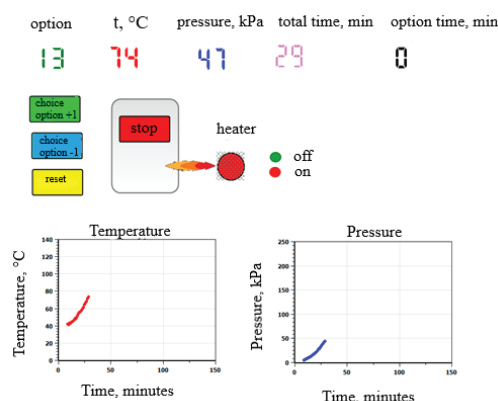


Fig. 4. General view of the SIMP Light ENT program for automating the control of the technological process of sterilization of canned goods in an electric autoclave

40, 50, 60, more than 60. After selecting the program, the OWEN PR200 controller automatically switches to mode of its execution, the switch on the controller is turned on and alternating voltage is applied to the autoclave's electric shades. The number of the program variant, the temperature in °C and the pressure in kPa inside the autoclave, the total time of the program execution in minutes are indicated on the personal computer screen in real time. Also, graphs of the dependence of temperature on time  $t = f(T)$  and pressure on time  $P = f(T)$  are automatically built on the screen of a personal computer. This information can be exported in numerical form for use in drawing graphs in MS Excel.

6. At the end of the program execution time, the controller turns off the electric current supplied to the autoclave trays. The process of cooling the autoclave and unloading the finished product takes place. The technological process is completed.

**Results.** In order to carry out a practical study, the automation of the equipment for the technological process of sterilization of canned meat was carried out. Canned meat was placed in cans with a capacity of 0.35 liters, closed and placed in the middle of the autoclave. Water was poured into the autoclave 2 centimeters above the level of the cans. The autoclave was hermetically closed with a lid. According to Fig.3, the automation scheme was assembled. The next step was to turn on the personal computer and the controller, select program mode No.13 (table 1) in accordance with the raw material. For this option, the heating takes place to the

sterilization temperature  $t_{st}=120$  °C with a duration of 20 minutes.

After selecting the program, the controller automatically started its execution. The temperature and excess pressure inside the autoclave are displayed in real time on the computer screen. These indicators are fixed.

According to them, graphs of the dependence of temperature on time  $t = f(T)$  Fig.5a and pressure on time  $P = f(T)$ , Fig.5b were constructed. Temperature is measured in °C, excess pressure is measured in kPa.

Analyzing the graphs, you can distinguish 3 zones on them. The first zone is the heating zone of the autoclave to the sterilization temperature 72 °C. This heating takes 72 minutes ( $T_h$ ). At the same time, the excess pressure in the autoclave increases from 20 kPa to 200 kPa. This pressure allows water not to boil at a temperature of  $t_{st}=120$  °C. The second zone is a zone of exposure for 20 minutes. This happens from 72 to 92 minutes of the technological process of sterilization. As you can see, the temperature inside the autoclave is within 119...122 °C. Such a change in temperature is caused by the fact that the water is heated by electric heaters and there is a certain inertia of the thermal system. The electric tan is heated from the current to a much higher temperature than 120 °C, then the heat released by the tan is transferred to the water, which in turn heats the jar with the food product and the temperature sensor. As soon as the temperature sensor has recorded 120 °C, the electric heater is turned off by the OWEN PR200 controller, but the

Autoclave operating modes

| Option No. | Sterilization temperature $t$ , °C | Exposure time $T$ , minutes |
|------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1          | 100                                | 10                          |
| 2          | 100                                | 15                          |
| 3          | 100                                | 20                          |
| 4          | 100                                | more 20                     |
| 5          | 110                                | 20                          |
| 6          | 110                                | 30                          |
| 7          | 110                                | 40                          |
| 8          | 110                                | more 40                     |
| 9          | 115                                | 20                          |
| 10         | 115                                | 25                          |
| 11         | 115                                | 30                          |
| 12         | 115                                | more 30                     |
| 13         | 120                                | 20                          |
| 14         | 120                                | 30                          |
| 15         | 120                                | 40                          |
| 16         | 120                                | 50                          |
| 17         | 120                                | 60                          |
| 18         | 120                                | more 60                     |

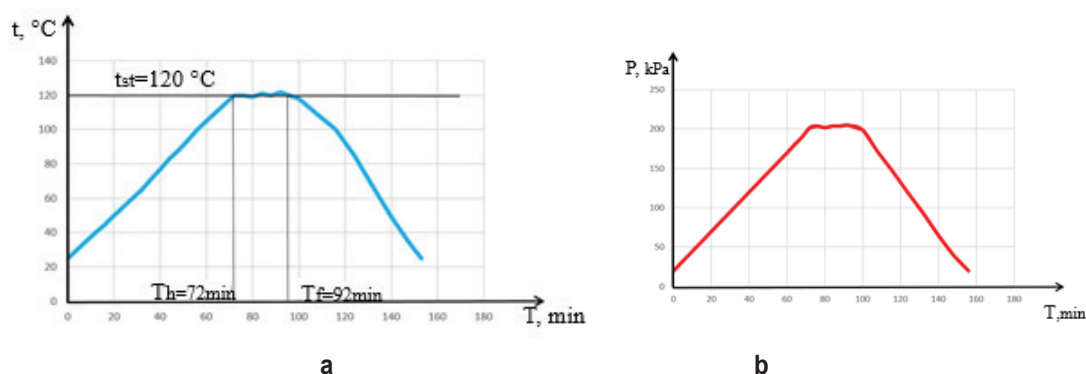


Fig. 5. Dependence graphs: a – temperature  $t = f(T)$ ; b – pressure  $P = f(T)$  from the time of execution of the technological process of sterilization in an electric autoclave

internal thermal energy accumulated by the body of the electric heater will be transferred to the water. Therefore, the water begins to overheat to 122 °C. Accordingly, the value of the water temperature of 119 °C occurs as a result of the fact that the water cools down to this temperature, only after that the controller will re-connect the electric power to the tank, and the heating will be repeated. The third zone on the chart is at a time of more than 92 minutes ( $T_f$ ). At this time, the controller turned off the supply of electrical energy to the autoclave tank and the process of autoclave cooling takes place.

**Discussion.** On the basis of the conducted research, it can be stated that the automated stand for control and management of an electric autoclave using a programmed logic controller is adequate. The technological process of sterilization of canned meat takes place with the help of an electric autoclave and an OWEN PR200 connected to a personal computer with a special SIMP Light ENT software product. Comparing the stability and stationarity of our proposed technological process with the technological

processes in the autoclave of other authors, we can conclude that we have achieved reliable results. Thus, in her chapter of the manual, Susan Featherstone presented the calculations of the heating parameters of the sterilization process, which, according to the table of options for existing processes, coincide with ours. R. Malaka, A. Triana and G. Ghoshal proposed a method of sterilizing milk with the addition of extract in the same equipment as in our article – an electric autoclave that works on the same principle (Malaka & Maruddin, 2020; Triana et al., 2020; Ghoshal, 2018). S.Piramuthu, E. Saldaña, G. Saravacos and S. Featherstone substantiated the feasibility of using an electric autoclave for food preservation (Piramuthu & Zhou, 2016; Saldaña et al., 2013; Saravacos & Kostaropoulos, 2016; Featherstone, 2015). R.-Y. Chen, K. J. Jijo, K. K. Sandey, L. Pan and W. L. Lau in their works investigated the dependence of temperature on the condition of canned products sterilized in autoclaves at high pressure (Chen, 2017; Chen, 2016; Jijo & Ramesh, 2014; Sandey et al., 2017; Pan et al., 2017; Lau et al., 2015). Their conclusions regarding the research are



identical to ours, since the pressure exerted upon reaching the required temperature during canning of poultry meat in an electric autoclave did not exceed the norm and increased at a proportional rate to the temperature. M. Muller, R. Chaari, J. Iqbal and H. A. Pierson in his publication emphasizes the necessity and expediency of using robotic systems in the world (Muller et al., 2014; Chaari et al., 2016; Iqbal et al., 2017; Pierson & Gashler, 2017). And scientists E. Hartulistiwa and M. Akmal studied the canning of crab meat in a capacity of 0.35 liters, which determines the standard indicator of the volume of cans for canning in the food industry (Hartulistiwa & Akmal, 2020).

**Conclusions.** As a result of the conducted research, it was proposed to use an electric autoclave with a programmable controller OWEN PR200, which made it possible to automate the technological process of sterilization of canned goods. For the first time, the software product developed and loaded into the OWEN PR200 controller using a personal computer and specialized OWENLogic software allows you to have 18 program

options in which the parameters of the sterilization process are programmed, such as the sterilization temperature: 100 °C, 110 °C, 115 °C, 120 °C and time durations: 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 and more minutes. The choice of such indicators of the technological process allows sterilization of canned meat and vegetables in cans with a capacity of 0.35 liters; 0.5 liters; and 1.0 liters. The main parameters of the technological process of sterilization are indicated in real time on the screen of a personal computer in the SIMP Light ENT program. It is also possible to record these parameters and export them to MS Excel.

The practical application of the obtained results consists in the complete automation of the technological process of sterilization of canned goods in an electric autoclave, which allows the reproduction of the process any number of times while preserving the technological parameters of the process. And there is also an opportunity to conduct new scientific research on the optimization of the parameters of the technological process of sterilization and the preparation of new types of canned goods with controlled parameters.

### References:

1. Alvarenga, V.O., Campagnollo, F.B., do Prado-Silva, L., Horita, C.N., Caturla, M.Y.R., Pereira, E.P.R., Crucello, A., & Sant'Ana, A.S. (2018). Impact of Unit Operations From Farm to Fork on Microbial Safety and Quality of Foods. *Adv Food Nutr Res.*, v (85), pp.131-175. doi: 10.1016/bs.afnr.2018.02.004.
2. Chaari, R., Ellouze, F., Qureshi, B., Pereira, N., Yousbet, H., & Tover, E. (2016). Cyber – physical system clouds: a survey computer networks, v (108), pp.260 – 278. doi: 10.1016/j.comnet.2016.08.017.
3. Chandrasiri, G.S.M., Wijenayake, A.K.I. & Udara, S.P.R. (2022). Development of automated systems for the implementation of food processing. *J. Res. Technol. Eng.*, v 3(1), pp.8-18.
4. Chen, R.-Y. (2017). An intelligent value structure based approach to collaboration of food traceability cyber physical system by fog computing, *Food Control*, v (71), pp.124 – 136. doi . org / 10 . 1016 / j . foodcont.2016.06.042.
5. Chen, R.-Y. (2016). An intelligent value stream-based approach to collaboration of food traceability cyber physical system by fog computing. *Food Control*, v (71), pp.124-136. doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.06.042.
6. Fauziah, R., Malaka, R., & Yuliaty, F. N. (2020). Titratable acidity and pH changes of pasteurized milk by addition of Roselle flower extract in the refrigerator storage. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v 492(1), p.012057. doi: 10.1088/1755-1315/492/1/012057.
7. Featherstone, S. (2015). Spoilage of canned foods. *A Complete Course in Canning and Related Processes* (Fourteenth Edition), v (2), pp.27-42. doi: 10.1016/B978-0-85709-678-4.00002-6.
8. Ghoshal, G. (2018). Emerging Food Processing Technologies. *Food Processing for Increased Quality and Consumption*, v (18), pp.29-65. doi: 10.1016/B978-0-12-811447-6.00002-3.
9. Gordon, A. (2020). Food safety and quality systems in developing countries, Academic Press. ISBN 9780128142738.
10. Hartulistiwa, E., & Akmal, M. (2020). Energy Usage Analysis on The Production Process of Canned Crab Meat (*Portunus pelagicus*). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, v (542), p.012048. doi 10.1088/1755-1315/542/1/012048.
11. Iqbal, J., Khan, Z.H., & Khalid, A. (2017). Prospects of robotics in food industry, *Food Sci. Technol (Campinas)*, v 37(2), pp. 159-165. doi: 10.1590/1678-457X.14616.
12. Jijo, K.J., & Ramesh, K.K.R. (2014). Process automation for a food processing plant, *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, v 3(6), pp.1744-1750.
13. Kalantzis, F., & Revoltella, D. (2019). Do energy audits help SMEs to realize energy-efficiency opportunities? *Energy Economics*, v (83), pp.229-239. doi: 10.1016/j.eneco.2019.07.005.
14. Ko M.J., Nam H.H., & Chung, M.S. (2020). Subcritical water extraction of bioactive compounds from *Orostachys japonicus* A. Berger (Crassulaceae): *Sci Rep*, v (10), p.10890. doi: https://doi.org/10.1038/s41598-020-67508-2.
15. Kumar, Mr.T Raj, Pranav, A., Venkatesan, G., Shanthosh, S., & Arjunm, D.K. (2020). *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, v 8(5), pp. 2647-2650. doi: http://doi.org/10.22214/ijraset.2020.5442.
16. Lau, W. L., Reizes, J., Timchenko, V., Kara, S., & Kornfeld, B. (2015). Heat and mass transfer model to predict the operational performance of a steam sterilisation autoclave including products. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v (90), pp.800–811. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.06.089.
17. Malaka, R., & Maruddin, F. (2020). Antioxidant activity of milk pasteurization by addition of Matoa leaf extract (*Pometia pinnata*). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v 492(1), p.012046. doi: 10.1088/1755-1315/492/1/012046.
18. Meshram, A., Singhal, G.S., Bagyawant, S., & Srivastav, N. (2019). Plant-Derived enzymes; A Treasure for Food biotechnology, *Enzymes in Food Biotechnology*, pp.483-502. doi:10.1016/B978-0-12-813280-7.00028-1.



19. Mishachev, N.M., Shmyrin, A. M., & Suprunov, I.I. (2020). Simulation of sequential processing of a moving extended object. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*, v 11(7), p. 11A07T. doi: 10.14456/ITJEMAST.2020.140.
20. Mokrushin, S.A. (2022). Selection of a system for automatic control of the sterilization process of canned food in an industrial autoclave. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, v 1052(1), p. 012136. doi: 10.1088/1755-1315/1052/1/012136.
21. Muller, M., Kulenkotter, B., & Nassmacher, R. (2014). Robots in food industry : challenges and chances. In proceeding of the international symposium on robotics (ISR)/German conference on robotics (robotic) Germany.
22. Munirah, M., Malaka, R. & Maruddin, F. (2021). Organoleptic quality of pasteurization milk by matoa (*Pometia pinnata*) leaf extract supplementation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, v (788), p. 012098. doi: 10.1088/1755-1315/788/1/012098.
23. Pan, L., Pouyanfar, S., Chen, H., Qin, J. & Chen, S.-C. (2017). Deep Food: Automatic Multi-Class Classification of Food Ingredients Using Deep Learning, *IEEE 3rd International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)*, pp.181-189. doi:10.1109/CIC.2017.00033.
24. Pierson, H. A., & Gashler, M. S. (2017). Deep learning in robotics: a review of recent research. *Advanced Robotics*, v (31), pp. 821-835. doi:10.1080/01691864.2017.1365009.
25. Piramuthu, S., & Zhou, W. (2016). RFID and sensory network automation in the food industry: ensuring quality and safety through supply chain visibility. *John Wiley & Sons*. doi:10.1002/9781118967423.
26. Radchuk, O.V. & Savchenko-Pererva, M.Yu. (2023). Automated control system of devices for extraction of vegetable raw materials with subcritical liquid. *Scientific bulletin of Tavriya State Agro-Technological University*. – Melitopol: TDATU, v 2(13), pp. 34-43. doi: 10.31388/2220-8674-2023-2-34.
27. Saldaña, E., Siche, R., Luján, M., & Quevedo, R. (2013). Review: Computer vision applied to the inspection and quality control of fruits and vegetables. *Brazilian Journal of Food Technology*, v 16(4), pp. 254-272. doi: http://dx.doi.org/10.1590/S1981-67232013005000031.
28. Sandey, K.K., Qureshi, M.A., Meshram, B.D., Agrawal, A.K. & Uprit, S. (2017). Robotics – An Emerging Technology in Dairy Industry, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, v 43(1), pp. 58-62. doi: 10.14445/22315381/IJETT-V43P210.
29. Saravacos, G., & Kostaropoulos, A.E. (2016). *Equipment for novel food processes handbook of food processing equipment*. Springer, pp. 605-643.
30. Savchenko-Pererva, M.Yu. (2022). Innovative engineering solution in hotel and restaurant industry. *Modern engineering and innovative technologies, Germany*, v 20(1), pp. 3-7. DOI: 10.30890/2567-5273.2022-20-01-010.
31. Savchenko-Pererva, M. & Radchuk, O. (2021). Improvement of dust collectors for implementation in the food industry. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series "Mechanization and automation of production processes"*, v 4(46), pp. 50-54. doi: https://doi.org/10.32845/msnau.2021.4.7.
32. Stier, R. F. (2019). Technical and quality management of canning. *Swainson's Handbook of Technical and Quality Management for the Food Manufacturing Sector*, pp. 505-527.
33. Triana, A., Maruddin, F., & Malaka, R. (2020). Supplementation of matoa (*Pometia pinnata*) leaf extract and alginate suppressed the growth of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in pasteurized milk. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v 492(1), p. 012044. doi: 10.1088/1755-1315/492/1/012044.
34. Triana, A., Maruddin, F., Malaka, R., & Taufik, M. (2020). Matoa pasteurized milk quality subjected to the different levels of alginate. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v 575(1), p. 012029. doi: 10.1088/1755-1315/575/1/012029.
35. Wang, Y., Ke, L., Yang, Qi, Peng, Yu., Hu, Ya., Dai, L., Jiang, L., Wu, Q., Liu, Yu., Ruan, R., Fuet, G. (2019). Biorefinery process for production of bioactive compounds and bio-oil from *Camellia oleifera* shell. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, v (12), pp. 190–194. doi: 10.25165/ijabe.20191205.4593.

**Савченко М. Ю.**, кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

**Радчук О. В.**, кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

**Головач І. В.**, завідувач лабораторії, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

#### **Автоматизація керування електричним автоклавом**

У статті проаналізовано використання електричного автоклава із запропонованою системою автоматизованого керування технологічним процесом в умовах малого підприємства або невеликого цеху закладу ресторанного господарства. Проведено аналіз виконання технологічного процесу стерилізації консервів в електричному автоклаві на створеному автоматизованому стенді керування електричним автоклавом під назвою «Стенд автоматичного контролю та керування технологічними параметрами теплового устаткування». Розглянуто варіанти режимів роботи програмованого логічного контролера ОВЕН ПР200 з електричним автоклавом. Наведено принцип роботи електричного автоклава у схемі електричного ланцюга з програмованим логічним контролером. Наведено порядок підключення датчиків та їх види, що беруть участь у визначенні параметрів заданого технологічного процесу – термометр опору, для визначення значення температури та датчик тиску. Визначено, що початковим варіантом, який відповідає за початок проведення досліджень, є варіант №1, а кількість варіантів – 18, що запрограмовані під конкретні значення заданого технологічного процесу в пам'яті програмованого логічного контролера. Визначено способи управління електричним автоклавом – безпосередньо через дисплей програмованого логічного контролера або через встановлену інформативну програму SCADA на персональному комп'ютері. Попередньо з'ясовано, що SCADA система SIMP Light ENT забезпечує доступ по локальній мережі або

через Інтернет до поточних та архівних даних технологічного процесу. Підтримується робота Монітора в мережевому режимі – можливе підключення кількох ПК до однієї станції. Наведено порядок запуску програми SCADA система SIMP Light ENT – редактор каналів, перевірка налаштування каналів, обрання потрібного COM порт, запуск тестових каналів, редактора мнемосхем та запуск монітора. Експериментально доведено, нагрівання електричного автоклава запускається за рахунок або безпосередньо програмованим логічним контролером, або персональним комп'ютером з програмою SCADA. Досліджено, електричний автоклав нагрівається протягом зазначеного технологічним процесом часу до заданих параметрів. Визначено, що задані технологічним процесом параметри відповідають значенням термометра опору та датчика тиску для відповідного технологічного процесу, відповідно до обраного варіанту – варіант №13 – стерилізація м'ясних консервів. Проаналізовано коливання напруги та нестаціонарність технологічних параметрів в межах 2%, що пов'язано з типовими ознаками регулятора програмованого логічного контролера, але зазначені показники – в межах норми.

**Ключові слова:** технологічні параметри, електрообладнання, режими роботи стерилізації м'ясних консервів, технологічний процес, автоматизація ПЛК, харчовий продукт.

## АНАЛІЗ ДОКУМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР НА ДІЮЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

**Болгова Наталія Вікторівна**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-0201-0769  
natalia.bolhova@snau.edu.ua

**Соколенко Вікторія Вікторівна**

старший викладач  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-2049-7013  
viktoriia.sokolenko@snau.edu.ua

**Губа Світлана Олександрівна**

асистент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-0546-7940  
snau-okunevaska@ukr.net

**Ладокhin Сергій Вікторович**

магістр  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0009-0005-2274-307X  
ladokhin.1080@gmail.com

**Мацюк Євген Анатолійович**

магістр  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0009-0007-4305-4315  
vd1989matsyuk@gmail.com

*Системний підхід до безпечності харчових продуктів і запобігання захворюванням харчового походження протягом життєвого циклу харчових продуктів називають системою НАССР. М'ясо та м'ясні продукти вважаються найбільш чутливі до зараження патогенними мікробами. М'ясо являє собою поживне середовище для розвитку мікробів. Заходи, направлені на удосконалення існуючої системи НАССР на виробництві, є обов'язковими та постійними. Мета дослідження: проаналізувати документи системи НАССР, обґрунтувати доцільність обраної ККТ. Матеріали і методи. Для досягнення мети обрано метод огляду, аналізу доказів з низки джерел і досліджень. Матеріалом є документи системи безпечності харчових продуктів (НАССР). Викладення основних результатів дослідження. В процесі впровадження системи безпечності на підприємстві ТОВ «Лубним'ясо» компанією IT-Enterprise було встановлено 12 контрольних критичних точок. Однією з ККТ є дозування спецій. Для обґрунтування доцільності цієї ККТ нами проведено аналіз документів системи безпечності. Одним із обов'язкових документів системи НАССР є опис сировини, таропакувальних матеріалів та інгредієнтів. Вимоги опису сировини поширюються на весь харчовий ланцюг. Для аналізу обираємо часник гранульований. Аналізуючи таблицю можна стверджувати, що за умови виконання вимог, які прописані в описі сировини починаючи з вхідного контролю до етапу дозування гранульованого часнику, інгредієнт залишається безпечним. Зважаючи, що ефективність системи безпечності оцінюється через простежуваність, нами проаналізовано технологію виробництва котлети гамбургерної яловичої замороженої. Зважаючи на аналіз документів системи НАССР, її впровадження та реалізацію на виробництві, а також враховуючи позитивні практики вважаємо, що обрана ККТ не є обґрунтованою. **Висновки.** Таким чином, досліджувану ККТ слід вважати точкою контролю. Заходи, що впроваджені при виробництві котлети гамбургерної яловичої замороженої, на наш погляд, дозволяють отримати безпечний продукт, зважаючи ще і на те, що продукція буде проходити перед вживанням термічну обробку.*

**Ключові слова:** безпечність, харчовий продукт, НАССР, небезпечний чинник, критична контрольна точка, простежуваність, опис сировини, м'ясо, котлета.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.3>

**Вступ.** Аналіз небезпечних чинників і критичні контрольні точки визнані ключовою частиною практик управління безпеністю харчових продуктів у світовій харчовій промисловості та можуть застосовуватися на будь-якому етапі ланцюга харчових продуктів (Wallace, 2024). Глобальну кількість невдач у безпеності харчових продуктів можна вирішити приділивши більше уваги культурі виробництва харчових продуктів, ставленні, компетенціям, відповідальності через ланцюги поставок. Безпечність харчових продуктів є поєднанням організаційної культури, соціологічних факторів, технологічних та інформаційних факторів. Визначення «ефективності» безпеності харчових продуктів визначає слабкі сторони, забезпечує шлях для вдосконалення та підтримує прийняття рішень на основі оцінки ризику (Frankish & Ross, 2024). Саме тому аналіз ризиків це міжнародно визнаний процес, прийнятий органами регулювання безпеності харчових продуктів у всьому світі (Huang, Lau & Smith, 2024; Allam та ін., 2023; Yang, Wei & Pei, 2019).

Система HACCP – це системний підхід до безпеності харчових продуктів і запобігання захворюванням харчового походження протягом життєвого циклу харчових продуктів (Bolhova, 2022; Bolhova et al.2023; Pardo та ін., 2013; Chen, Liou, Hsu, Chen & Chuang, 2021; El-Mougy та ін., 2022). Впровадження інформаційних технологій у системах управління безпеністю харчових продуктів це не лише відповідь на виклик сьогодення, а й вимога, яка покращить контроль в критичних контрольних точках, забезпечить гарантований моніторинг ризиків, підвищить точність і повторюваність вимірювань (Trofimova, Ermolaeva & Trofimov, 2020; Chernova, Vychenkova, Kotova & Pupykin, 2019; Awuchi, 2023).

М'ясо та м'ясні продукти вважаються найбільш вразливі до забруднення патогенними мікробами, оскільки м'ясо являє собою поживне середовище для розвитку мікробів (Sallam et al., 2020). Тому заходи, направлені на удосконалення існуючої системи HACCP на виробництві, є обов'язковими та постійними.

**Мета дослідження:** проаналізувати документи системи HACCP, обґрунтувати доцільність обраної ККТ.

**Матеріали і методи досліджень.** Для досягнення мети обрано метод огляду, аналізу доказів з низки джерел і досліджень. Матеріалом є документи системи безпеності харчових продуктів (HACCP).

**Результати дослідження.** В процесі впровадження системи безпеності на підприємстві ТОВ «Лубним'ясо» компанією IT-Enterprise було встановлено 12 контрольних критичних точок. Однією з ККТ є дозування спецій. Для обґрунтування доцільності цієї ККТ нами проведено аналіз документів системи безпеності.

Одним із обов'язкових документів системи HACCP є опис сировини, тарпакувальних матеріалів та інгредієнтів. Описи сировини (далі ОС) є документами системи менеджменту безпеності харчових продуктів та якості, розроблені відповідно до вимог ISO 22000:2018 п. 8.5.1.2 по закупівлі сировини та GSO 2055-1:2015, GSO 993:2015, SMIC-1:2011. Вимоги ОС поширюються на весь харчовий ланцюг. Для аналізу обираємо часник гранульований (табл. 1).

Аналізуючи таблицю, можна стверджувати, що за умов виконання вимог, які прописані в ОС починаючи з вхідного контролю до етапу дозування гранульованого часнику, інгредієнт залишається безпечним.

Таблиця 1

#### Опис сировини, тарпакувальних матеріалів та інгредієнтів

| Показник                                 | Опис                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Найменування                             | Часник гранульований                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Нормативний документ                     | ТУ У 10.8-41275804-001; ISO 22000:2018; GSO 2055-1:2015; GSO 993:2015; SMIC-1:2011                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Характеристики:                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Біологічні                               | Кількість МАФАМ, КОЕ г/продукту, що не більше, для $1 \cdot 10^5$ ; Бактерії групи кишкових паличок (коліформи) в 0,01 г продукту не допускаються. Патогенні мікроорганізми в т. ч. сальмонели в 50 г продукту не допускається, Сульфитредуючі клостридії в 0,01 г продукту не допускається, плісняві гриби КУО в 1,0 г. не більше $1 \cdot 10^3$ . |
| Хімічні                                  | Харчові властивості, 100 г: Калорійність – 330 ккал, Білки – 16 г, Жири – 0,5 г Вуглеводи – 64 г, залізо, кальцій, калій, магній, марганець, фосфор, цинк, селен; вітаміни: B1, B2, B3, B4, B5, B6, B9, C;                                                                                                                                          |
| Фізичні                                  | Має вигляд гранул та кремовий колір. Служить заміною свіжому часнику, так як при сушінні не втрачає свої корисні властивості.                                                                                                                                                                                                                       |
| Склад сировини/інгредієнтів              | Однокомпонентний продукт часник сушений гранульований.                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Метод обробки                            | Готовий до використання.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Походження                               | Україна.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Метод пакування та доставки              | Герметично упаковано в поліетиленовий пакет, фасування по 1 кг.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Строк зберігання                         | Умови зберігання: температура не більше 25 °С, відносна вологість повітря не більша 75%, строк зберігання 12 місяців                                                                                                                                                                                                                                |
| Підготовка продукції перед використанням | Продукт готовий до використання, зважити необхідну кількість згідно рецептури.                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Критерії приймання                       | Приймає сировину, тарпакувальні матеріали на склад після надання необхідної супровідної документації (якісне посвідчення, сертифікат відповідності, гігієнічний сертифікат, санітарно-епідеміологічний висновок, декларація виробника, відомість переміщення, товарно-транспортна накладна) та по кількості.                                        |



Зважаючи, що ефективність системи безпечності оцінюється через простежуваність, нами проаналізовано технологію виробництва котлети гамбургерної яловичої замороженої.

#### **Підготовка до виробництва:**

1. Майстер або призначена ним відповідальна особа приймає від комірника сировину згідно замовлення з камери зберігання охолодженої продукції.

2. Сировина перемішується на дільницю нарізання. На столі на нарізки встановлюються ваги для коригування індивідуальної маси шматка. При прийомі та при подальших обробках, майстер або призначена ним відповідальна особа, звертає увагу на органолептичні показники сировини, такі як колір та запах. У випадку помічених невідповідностей, таких як: температура у товщі м'ясної тканини менше за +2°C або більше за +8°C; колір та запах (не характерний для свіжого доброякісного м'яса або із стороннім запахом); консистенція (не характерна для доброякісної сировини, м'язи не пружні); поверхня (не характерна для м'яса яловичини в охолодженому стані, перемістити в окрему тару сировину та доповісти про це майстру або інспектору контролю з якості). Відбір і підготовка і подрібнення сировини до перемішування.

3. Основна сировина наважується у візок згідно з рецептурою і перемішується до підйомника-перекидача вовчка. Завантажити бункер вовчка і подрібнити сировину через відповідний розмір отворів у візок.

4. Зробити наважку спецій та харчових добавок в спеціальну ємність згідно рецептури.

5. Підготувати необхідний об'єм харчової води згідно рецептури у ємність. Перемішування сировини, підготовка фаршу.

6. За допомогою підйомника-перекидача вивантажити подрібнену основну сировину з металевої тари у мішалку, додати харчові та смакові добавки, додати харчову воду.

7. Закрити кришку мішалки, увімкнути. Перемішування: тривалість 6 хвилин, вакуум – 76%.

8. Після закінчення перемішування відкрити кришку вивантаження бункера, натиснувши одночасно дві кнопки на пульті керування машиною, вивантажити фарш у металевий візок.

9. Замотати стрейч-плівкою металевий візок, нанести етикетку з інформацією про назву напівфабрикату та датою виготовлення. Перемістити візок у камеру зберігання охолоджених напівфабрикатів (0...+4°C) для подальшого зберігання до формування котлет.

#### **Формування котлет:**

1. Встановити на машину для формування котлет матрицю з отвором діаметром 120 міліметрів.

2. Встановити та зафіксувати подавальну стрічку.

3. Під'єднати машину до електричної мережі та до трубки стиснутого повітря. Підготувати контрольні ваги.

4. Вивантажити фарш з металевого візка у бункер машини. Виставити корегуючий вагу гвинт на видачу порції вагою 120 грамів. Натиснути ногою на педаль включення. Знімати котлети з падаючої стрічки у маленький ящик, кожен ящик містить по 11 котлет. *Через кожні*

*6 котлет необхідно робити контрольний замір ваги однієї одиниці. Якщо вага невідповідна, необхідно підкорегувати гвинт ваги в більшу чи в меншу сторону, в залежності від відхилення. Максимально допустиме відхилення однієї штуки – 2 грами.*

5. Сформувати піддон ящиків з котлетами, нанести етикетку з інформацією про назву напівфабрикату та датою виготовлення. Перемістити піддон у камеру зберігання охолоджених напівфабрикатів (0...+4°C). *До пакування не допускаються котлети, що мають не регламентовані відхилення по вазі, з включеннями жиру більше 5 мм, деформовані або з порушеною цілісністю.*

6. За 15 хвилин до пакування, піддон з котлетами переміщують у камеру зберігання замороженої продукції для підморожування до температури -5°C на поверхні продукту і -1°C. Через 15 хвилин з моменту підморожування піддон перемішують на дільницю пакування до пакувальної машини.

7. Викласти дві котлети у центрі тарілки, таким чином, щоб відстань між котлетами не перевищувала 10 мм.

8. Запустити машину MULTIVAC та металодетектор.

9. Після закінчення циклу вакумації одягнути обічайку на тарілку так, щоб кут, призначений для відкриття, знаходився з протилежної сторони від верхньої частини обічайки. Скласти у середній ящик котлетами униз.

10. Маркування проводиться згідно із Законом України №2639-VIII «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів». До маркування не допускається продукція з наступними відхиленнями:

- зсув котлети, розвакумовані або пошкоджені одиниці. Така продукція підлягає перепакуванню;
- продукція, яку відсортював металодетектор, підлягає утилізації.

Таким чином, можемо навести загальний опис блок-схеми виробництва продукції за системою НАССР.

1. Сировина та початковий контроль якостей:

- Прихід сировини.
- Перевірка якості сировини та приймання.
- Лабораторія аналізу сировини (якщо необхідно).

2. Приготування сировини:

- Приготування та обробка сировини перед виробництвом.

3. Виробництво:

- Процес виробництва продукції.
- Контроль параметра виробництва (температура, час, тиск тощо).

4. Забезпечення безпеки продукції:

- Виявлення потенційних ризиків безпеки.
- Запобігання забрудненню продукції.

5. Вимоги до гігієни та санітарії:

- Виконання санітарних норм та стандартів.
- Обслуговування обладнання та прибирання.

6. Моніторинг та контроль:

- Постійний моніторинг параметрів виробництва.
- Збір та аналіз вибірок продукції.

7. Валідація та верифікація:

- Перевірка та документація ефективності системи контролю якості НАССР.



8. Зберігання та транспортування:
  - Умови зберігання і транспортування продукції.
9. Управління відходами та реагентами:
  - Обробка відходів та реагентів.
10. Документація та реєстрація:
  - Ведення записів виробництва та контролю якості.
11. Виробничий контроль якості та тестування:
  - Перевірка якості продукції перед упаковкою та відправленням.
12. Упаковка та маркування:
  - Упаковка готової продукції та нанесення маркування.
13. Зберігання та доставка:
  - Умови зберігання готової продукції та її доставка до клієнтів.
14. Записи та документація HACCP:
  - Ведення записів про контроль якості та забезпечення відповідності стандартам HACCP.
15. Реагування на аварійні ситуації:
  - План дій у випадку аварійних ситуацій або відповідності стандартам.

Зважаючи на аналіз документів системи HACCP, її впровадження та реалізацію на виробництві, а також враховуючи позитивні практики, вважаємо, що обрана ККТ не є обґрунтованою.

**Висновки.** Таким чином, досліджувану ККТ слід вважати точкою контролю. Заходи, що впроваджені при виробництві котлети гамбургерної яловичої замороженої, на наш погляд, дозволяють отримати безпечний продукт, зважаючи ще і на те, що продукція буде проходити перед вживанням термічну обробку.

#### **Бібліографічні послання:**

1. Allam, A., Shafik, N., Zayed, A., Khalifa, I., Bakry, I.A., & Farag, M.A. (2023). Plain set and stirred yogurt with different additives: implementation of food safety system as quality checkpoints. *PeerJ*, 11, e14648. <https://doi.org/10.7717/peerj.14648>
2. Bolhova, N.V. (2022). Mizhnarodna komunikatsiia v pytanniakh bezpechnosti kharchovykh produktiv [International communication in issues food safety]. *Zhurnal «Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii»*, 28(5), 16-26. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2022-28-5-4> (in Ukrainian).
3. Bolhova, N.V., Shurubei, D.S., & Sokolenko, V.V. (2023). Shliakhy udoskonalennia systemy bezpechnosti na miasopererobnomu pidpriemstvi [Ways to improve the safety system at a meat processing plant]. *Naukovi problemy kharchovykh tekhnolohii ta promyslovoi biotekhnolohii v konteksti yevrointehratsii: Prohrama ta tezy materialiv Khl Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*, 7 lystopada 2023 r., m. Kyiv. – K.: NUKhT, 269-270. (in Ukrainian).
4. Carol A., Wallace. (2024). Food Safety Assurance Systems Hazard Analysis and Critical Control Point System (HACCP): Principles and Practice. Editor(s): Geoffrey W. Smithers. *Encyclopedia of Food Safety (Second Edition)*. Academic Press, 91-108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822521-9.00226-4>
5. Chen, H., Liou, B.K., Hsu, K.C., Chen, C.S., & Chuang, P.T. (2021). Implementation of food safety management systems that meets ISO 22000:2018 and HACCP: A case study of capsule biotechnology products of chaga mushroom. *J Food Sci*, 86(1), 40-54. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15553>
6. Chinaza Godswill, Awuchi (2023). HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems, *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2176280. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2176280>
7. Elena, Chernova, Valeriia, Bychenkova, Nataly, Kotova, & Kiril, Pupykin. (2019). Automation of processes of temperature modes control in security system based on HACCP principles. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 497, 012108. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012108>
8. El-Mougy, R.M., Abd-Elghany, S.M., Imre, K., Morar, A., Herman, V., & Sallam, K.I. (2023). Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) Application to Dry-Cured Pastrami in Egyptian Pastrami Factories. *Foods*, 12(15), 2927. <https://doi.org/10.3390/foods12152927>
9. Frankish, E., Ross, T., & Bowman, J. (2024). Food Safety Culture. Editor(s): Geoffrey W. Smithers. *Encyclopedia of Food Safety (Second Edition)*. Academic Press, 664-670. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822521-9.00023-X>
10. Pardo, J.E., de Figueirêdo, V.R., Alvarez-Ortí, M., Zied, D.C., Peñaranda, J.A., Dias, E.S., & Pardo-Giménez, A. (2013). Application of Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) to the Cultivation Line of Mushroom and Other Cultivated Edible Fungi. *Indian J Microbiol*, 53(3), 359-69. <https://doi.org/10.1007/s12088-013-0365-4>
11. Sallam, K.I., Abd-Elghany, S.M., Hussein, M.A., Imre, K., Morar, A., Morshdy, A.E., & Sayed-Ahmed, M.Z. (2020). Microbial decontamination of beef carcass surfaces by lactic acid, acetic acid, and trisodium phosphate sprays. *BioMed Res. Int.*, 2324358. <https://doi.org/10.1155/2020/2324358>
12. Taya, Huang, Emily, Lau, & Benjamin, P.C. (2024). Smith. Food Safety Risk Analysis: An Overview. Editor(s): Geoffrey W. Smithers. *Encyclopedia of Food Safety (Second Edition)*. Academic Press, 268-278. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822521-9.00208-2>
13. Yang, Y., Wei, L., & Pei, J. (2019). Application of meta-analysis technique to assess effectiveness of HACCP-based FSM systems in Chinese SLDBs. *Food Control*, 96, 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.013>
14. Trofimova, N.B., Ermolaeva, E.O., & Trofimov, I.E. (2020). Development of a Software Product for the Automation of Hazard Analysis and Critical Control Points in Food Production. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(1), 167–175. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-167-175>

**Bolgova N. V.**, PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**Sokolenko V. V.**, Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**Huba S. O.**, Assistant, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**Ladokhin S. V.**, Master, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**Matsiuk Ye. A.**, Master, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Analysis of documents of the HACCP system at the current enterprise**

The systemic approach to food safety and the prevention of foodborne diseases during the life cycle of food products is called the HACCP system. Meat and meat products are considered the most sensitive to contamination by pathogenic microbes. Meat is a nutrient medium for the development of microbes. Measures aimed at improving the existing HACCP system in production are considered mandatory and permanent. The purpose of the study: to analyze the documents of the HACCP system, to justify the expediency of the selected CCP. The purpose of the study: to analyze the documents of the HACCP system, to justify the expediency of the selected CCP. Materials and methods. To achieve the goal, the method of review and analysis of evidence from a number of sources and studies was chosen. The material is documents of the Food Safety System (HASSR). Presentation of the main research results. During the implementation of the security system at Lubnymyaso LLC, IT-Enterprise established 12 critical control points. One of the CCP is the dosage of spices. In order to substantiate the expediency of this CCP, an analysis of security system documents was conducted. One of the mandatory documents of the HACCP system is the description of raw materials, packaging materials and ingredients. Requirements for the description of raw materials apply to the entire food chain. For analysis, we choose granulated garlic. Analyzing the table, it is possible to state that if the requirements prescribed in the description of the raw material are met, starting from the input control to the dosing stage of granulated garlic, the ingredient remains safe. Due to the fact that the effectiveness of the security system is estimated through traceability, we analyzed the production technology of frozen hamburger beef patties. Taking into account the analysis of documents of the NAASR system, its introduction and implementation in production, as well as taking into account positive practices, we believe that the selected CCP is not justified. Conclusions. Thus, the studied CCP should be considered a control point. In our opinion, the measures implemented in the production of frozen beef hamburger patty make it possible to obtain a safe product, taking into account the fact that the product will undergo heat treatment before use.

**Key words:** safety, food product, HACCP, dangerous factor, critical control point, traceability, description of raw materials, meat, cutlet.

## ЕФЕКТИВНА ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТА ТЕПЛОАСОСНА СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

**Босий Микола Вікторович**

старший викладач кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
ORCID ID: 0000-0002-3090-0427  
bosiymv@ukr.net

**Боса Олена Анатоліївна**

здобувач вищої освіти  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
ORCID: 0000-0001-7621-6631  
bosaoa@ukr.net

*Наразі зміни, які відбуваються в сільськогосподарському виробництві України, потребують створення та розробку нових теплонасосних технологій, які використовуються для теплопостачання сільськогосподарських підприємств. В даній роботі розглядається проблема використання водяного теплового насоса (ТН), який працює на регенеративних джерелах енергії і використовує низькопотенційну теплоту води з річок, озер та підземних вод для теплопостачання сільськогосподарських підприємств. Мета роботи полягає в оцінюванні ефективності застосування парокомпресійного циклу водяного ТН на підприємствах сільськогосподарського виробництва з термодинамічної точки зору. Проаналізовано термодинамічні характеристики і особливості роботи ТН «вода-вода» для сільськогосподарських підприємств та оцінено фактори, що мають вплив на їх енергетичну ефективність. Також показано і проаналізовано вплив температури води на теплопродуктивність такого ТН. Для підвищення ефективності роботи системи теплопостачання сільськогосподарського підприємства запропоновано схему теплонасосної системи відбору низькопотенційної теплоти з використанням ТН "вода-вода". Проведені дослідження вказали на достатню ефективність застосування водяних ТН завдяки воді як низькопотенційному джерелу і їх перевагу перед іншим теплогенеруючим обладнанням. Водяні ТН споживають енергію низькопотенційних джерел, при цьому знижують витрати на теплопостачання більш ніж в половину. З точки зору економіки, для утилізації низькопотенційних теплових потоків вигідно використовувати ТН "вода-вода". На сучасному рівні, аналізуючи термодинамічну ефективність теплопостачальних систем з використанням теплових насосів у сільському господарстві, можна зробити висновок, що в сучасних економічних умовах необхідно розвивати системи теплопостачання із застосуванням парокомпресійних водяних ТН, а це, в свою чергу, суттєво підвищує характеристики обладнання для постачання теплоти, яке використовується на сільськогосподарських підприємствах.*

**Ключові слова:** водяний ТН, сільськогосподарські підприємства, джерела доквілля, теплопостачальні системи, коефіцієнт перетворення, ексергетичний ККД.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.4>

**Вступ.** Нагальне питання, яке потрібно вирішувати на даний час – це необхідність використовувати новітні енергозберігаючі технології постачання теплоти для галузі сільськогосподарського виробництва.

Тому зараз актуальною задачею в сфері постачання теплоти в процесах виробництва, переробки та зберігання сільськогосподарської продукції, а також для обігріву приміщень та гарячого водопостачання є використання енергоефективного теплонасосного устаткування.

Незважаючи на те, що природні вуглеводні мають значне місце в традиційних системах подачі теплоти, але доцільно переходити на регенеративні джерела теплоти доквілля, наприклад, повітря, річкової та морської води, ґрунту, ґрунтових вод, які використовуються в новітніх сучасних теплонасосних технологіях. (Bezrodnyi & Galan, 2011; Maliarenko & Lysak, 2004; Bezrodnyi et al., 2013; Ostapenko, 2015; Arseniev & Meleischuk, 2018; Bosyi & Kuzyk, 2020; Bosyi, 2022).

Перспективою постачання теплоти виробникам сільського господарства є використання регенеративного

джерела енергії, наприклад, такого як вода в водяних ТН на даному етапі.

Застосування теплової енергії природних джерел, особливо води, загалом економічно та екологічно вигідно, але частка використання теплової енергії навколишнього середовища невелика.

Тому потрібно збільшувати застосування природних екологічно чистих джерел енергії доквілля для постачання теплообігріву та гарячого водопостачання виробникам сільського господарства енергоефективними теплонасосними технологіями (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022; Bosyi & Kuzyk, 2022).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теплові насоси (ТН) – ефективні, економічні та екологічно чисті системи теплопостачання, вони дозволяють отримувати теплоту для теплопостачання приміщень за рахунок використання теплоти низькопотенційного джерела води, ґрунтових, артезіанських та термальних вод; природних вод річок, озер, морів, океанів; промислові та очищені побутові стоки; воду технологічних циклів. При

використанні 1 кВт електричної енергії, можна отримати 5 кВт теплової енергії для теплопостачання (Sniezhkin et al., 2008; Bosyi & Kuzyk, 2022; Pisarev, 2002; Bezrodnyi & Prytula, 2012; Bosyi et al., 2022).

При високій термодинамічній енергоефективності всіх видів теплових насосів, які використовують різні низькопотенційні природні джерела енергій доквілля, все більше роблять вибір на користь цих систем для теплопостачання приміщень та нагрівання води для сучасних сільськогосподарських підприємств різного призначення (Bosyi & Kuzyk, 2020; Bosyi, 2022; Bosyi et al., 2022).

За допомогою системи теплові насоси «вода-вода» можливо ефективно та екологічно чисто використовувати природні джерела енергії та екологічно чисті природні агенти як робочі тіла ТН для теплопостачання приміщень підприємств сільськогосподарського виробництва. На рис. 1. наведено основний принцип роботи парокompресійного теплового насоса.

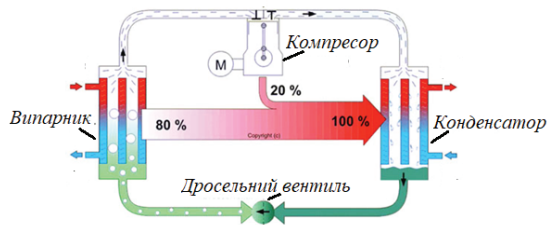


Рис. 1. Схема парокompресійного теплового насоса

Принципова схема роботи водяного та ґрунтового ТН представлені на рис. 2.

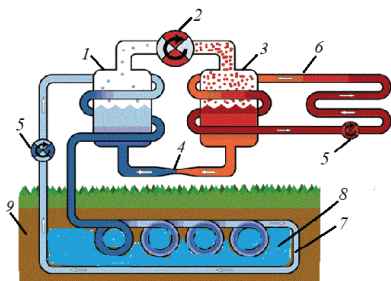


Рис. 2. Схема компресійного водяного та ґрунтового ТН:

1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор;  
4 – дросельний вентиль; 5 – насос; 6 – система теплопостачання сільськогосподарського підприємства; 7 – контур (колектор); 8 – джерело води; 9 – ґрунт

Розглянемо роботу водяного та ґрунтового ТН (рис. 1 та рис. 2). Робочий агент з випарника 1 поступає в компресор 2. В компресорі 2 відбувається стискування агента, при цьому тиск і температура його збільшуються. Потім нагрітий газ поступає в конденсатор 3, далі він охолоджується при передачі своєї теплоти теплоносію системи теплопостачання 6 і конденсується, тобто переходить в рідкий стан.

По контуру на шляху рідини високого тиску встановлений розширювальний вентиль (дросель) 4, який знижує тиск агента. Під час проходження через дросель 4 частина рідини випаровується і температура потоку знижується. Далі цей потік надходить у випарник 1, який пов'язаний з доквіллям (наприклад, джерелом води 8 та ґрунту 9). Енергія передається теплоносію в колекторі 7, який поступає у випарник 1. Робочий агент при відповідному тиску і температурі випаровується і перетворюється на газ. Потім газоподібний агент поступає в компресор 2 і цикл роботи ТН повторюється (Bosyi & Kuzyk, 2020; Bosyi, 2022).

Завдяки високим показникам термодинамічної енергоефективності ТН вода-вода, все більше здійснюється їх використання для постачання теплоти та гарячого водопостачання в сільськогосподарському виробництві (Bosyi & Kuzyk, 2020; Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

Тому на даному етапі необхідно модернізувати традиційні системи постачання теплоти в сільськогосподарському виробництві і застосовувати енергоефективні системи теплопостачання, такі як водяні теплові насоси (Bezrodnyi & Prytula 2012; Sirko et al., 2020; Bosyi et al., 2022).

**Постановка завдання.** Метою статті є визначення ефективності та доцільності використання циклу водяного теплового насоса на підприємствах сільськогосподарського виробництва.

**Матеріали і методи дослідження.** На даному етапі існуючі системи постачання теплоти в сільськогосподарському виробництві не забезпечують відповідної ефективності тому виникає необхідність застосування передових технологій постачання теплоти (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

Нами пропонується теплонасосна схема утилізації природного джерела теплоти води для теплопостачання підприємств сільськогосподарського призначення, яка наведена на рис. 3.

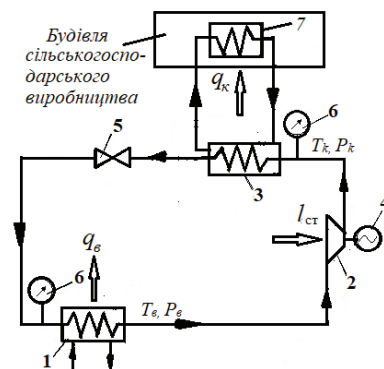


Рис. 3. Запропонована принципова схема ТН для постачання теплоти в сільськогосподарському виробництві:

1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор;  
5 – дросельний вентиль; 4 – електродвигун;  
6 – манометри; 7 – система постачання теплоти сільськогосподарського підприємства

Проведемо порівняльне дослідження термодинамічної ефективності ТН для природних джерел енергії – ґрунту та води.



Дослідження водяного та ґрунтового ТН проводилось для робочого тіла пропану. Для пропану температура випаровування становить  $t_b = 1...4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а конденсації –  $t_k = 66...68\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вибираємо низькопотенційне джерело теплоти. Вода або ґрунт на вході у випарник має температуру  $t'_{\text{HT}} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на його виході  $t''_{\text{HT}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура мережевої води (теплоносія) на вході у конденсатор становить  $t'_{\text{MB}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на виході з нього –  $t''_{\text{MB}} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

Виконаємо термодинамічний розрахунок циклу ТН «вода-вода» та «ґрунт-вода» [15-23].

Температура насиченої пари пропану на виході з випарника

$$T_b = T''_{\text{HT}} - \Delta T_b. \quad (1)$$

Температура конденсації пропану в конденсаторі

$$T_k = T'_{\text{MB}} + \Delta T_k. \quad (2)$$

Питома робота стиснення в компресорі

$$l_{\text{CT}} = h_2 - h_1. \quad (3)$$

Питоме теплове навантаження випарника

$$q_b = h_1 - h_4. \quad (4)$$

Питома теплова потужність конденсатора

$$q_k = h_2 - h_3. \quad (5)$$

Перевірка балансу теплоти

$$l_{\text{CT}} + q_b = q_k. \quad (6)$$

Визначення  $E_{\text{TH}}$  на одиницю виробленої теплоти

$$E_{\text{TH}} = l_{\text{CT}} / q_k. \quad (7)$$

Питома енергія, яка споживається електродвигуном

$$W = l_{\text{CT}} / \eta_{\text{ем.}} \cdot \eta_e, \quad (8)$$

де  $\eta_{\text{ем.}} = 0,95$  – коефіцієнт корисної дії компресора,  $\eta_e = 0,8$  – коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Коефіцієнт перетворення теплоти

$$\text{COP} = \text{COP}_T \cdot \eta_{\text{TH}}, \quad (9)$$

де  $\eta_{\text{TH}}$  – коефіцієнт, який враховує реальні процеси, що здійснюються робочим тілом у ТН, який змінюється в діапазоні  $0,6...0,8$  (приймаємо  $\eta_{\text{TH}} = 0,75$ ) [15, 18];  $\text{COP}_T$  – теоретичний коефіцієнт трансформації ТН.

Ексергетичний розрахунок ТН «вода-вода» та «ґрунт-вода» виконаний на основі визначення ексергій та ексергетичного балансу підведеної і відведеної ексергії в кожному елементі обладнання ТН «вода-вода» та «ґрунт-вода» (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

Ексергетичний коефіцієнт водяного та ґрунтового ТН показує ступінь термодинамічної досконалості ТН і розраховується, як відношення відведеної від ТН ексергії до підведеної ексергії (Bosyi et al., 2022; Bosyi, 2022).

$$\eta_{\text{ex}} = e_{\text{від.}} / e_{\text{під.}}, \quad (10)$$

де  $e_{\text{від.}} = e_b$  – відведена ексергія від ТН;  $e_{\text{під.}} = e_n + e_{\text{в.}}$  – підведена ексергія до ТН;  $e_b$  – питома ексергія, відведена середовищем, яке нагрівається від конденсатора ТН;  $e_n$  – питома ексергія, підведена до випарника низькопотенційного джерела теплоти;  $e_{\text{в.}}$  – питома ексергія

електричної енергії, підведеної до компресора на його привід (Bosyi, 2022; Bosyi et al., 2022).

Отримана ексергія у конденсаторі

$$e_b = t_b q_k, \quad (11)$$

де  $t_b$  – ексергетична температура гарячого теплоносія.

$$\tau_b = \frac{T_{\text{ср.мв.}}^{\text{K}} - (t_{\text{н.с.}} + 273)}{T_{\text{ср.мв.}}^{\text{K}}}. \quad (12)$$

Середня температура гарячого теплоносія

$$T_{\text{ср.мв.}}^{\text{K}} = \frac{t_{\text{MB}}'' - t_{\text{MB}}'}{\ln \frac{t_{\text{MB}}'' + 273}{t_{\text{MB}}' - 273}}. \quad (13)$$

Ексергія, віддана низькопотенційним теплоносієм у випарнику

$$e_n = t_n q_b, \quad (14)$$

де  $t_n$  – ексергетична температура природного теплоносія.

$$\tau_n = \frac{T_{\text{ср.нт.}}^{\text{B}} - (t_{\text{н.с.}} + 273)}{T_{\text{ср.нт.}}^{\text{B}}}, \quad (15)$$

де  $t_{\text{н.с.}}$  – температура доквілля.

Середня температура природного теплоносія

$$T_{\text{ср.нт.}}^{\text{B}} = \frac{t_{\text{HT}}' - t_{\text{HT}}''}{\ln \frac{t_{\text{HT}}' + 273}{t_{\text{HT}}'' - 273}}. \quad (16)$$

Ексергія електроенергії, що витрачається на привід компресора

$$e_e = W = \frac{l_{\text{CT}}}{\eta_{\text{ем.}} \eta_e}. \quad (17)$$

**Результати досліджень.** За приведеною вище методикою виконано термодинамічний аналіз та розрахунок водяного та ґрунтового ТН, результати представлені в табл. 1.

**Обговорення.** Термодинамічна енергоефективність роботи ТН «вода-вода» і «ґрунт-вода» визначається такими факторами: по-перше, температурним режимом роботи; по-друге – коефіцієнтом трансформації теплового насоса COP; по-третє – використанням природних екологічно чистих робочих агентів; у четвертих – вартістю електричної енергії, а також ексергетичним ККД ТН.

**Висновки.** Застосування ТН для постачання теплоти наразі є сучасним перспективним напрямком використання альтернативних природних низькопотенційних джерел енергії для забезпечення потреб систем теплопостачання та гарячого водопостачання будівель підприємств сільськогосподарського виробництва, але даний процес суттєво залежить від місцезнаходження об'єкта та наявності доступу до певного оптимального для нього джерела низькопотенційної теплової енергії. Проведений термодинамічний розрахунок водяного та ґрунтового ТН показав, що вони достатньо добре забезпечують теплотою підприємства сільськогосподарського



## Термодинамічний розрахунок водяного та ґрунтового ТН

| Параметр                                        | Розмірність | ґрунтовий ТН | водяний ТН |
|-------------------------------------------------|-------------|--------------|------------|
| Температура кипіння пропану, $T_v$              | К           | 275          | 277        |
| Тиск кипіння пропану, $p_v$                     | МПа         | 0,46         | 0,49       |
| Температура конденсації пропану, $T_k$          | К           | 342          | 343        |
| Ентальпія пропану після конденсатора, $h_3$     | кДж/кг      | 206          | 215        |
| Тиск конденсації пропану, $p_k$                 | МПа         | 2,60         | 2,69       |
| Ентальпія пропану на вході в компресор, $h_1$   | кДж/кг      | 529          | 541        |
| Ентальпія пропану після компресора, $h_2$       | кДж/кг      | 652          | 667        |
| Питоме теплове навантаження випарника, $q_v$    | кДж/кг      | 323          | 326        |
| Питоме теплове навантаження конденсатора, $q_k$ | кДж/кг      | 446          | 452        |
| Робота стиснення в компресорі, $l_{ст}$         | кДж/кг      | 123          | 126        |
| Перевірка балансу теплоти ТН, $q_{тб.тн}$       | -           | 446          | 452        |
| Коефіцієнт перетворення теплоти, COP            | -           | 3,82         | 3,89       |
| Ексергетичний ККД ТН, $\eta_{ex}$               | -           | 0,39         | 0,43       |

виробництва відповідними значеннями температур. В першу чергу одним з найбільш ефективних джерел природної енергії є теплота води. Для порівняння використовували і ґрунт, коефіцієнт трансформації COP

водяного ТН дорівнює 3,89, а для ґрунтового ТН він складає 3,82. Ексергетичний коефіцієнт корисної дії ТН для природного теплоносія води становить 43 %, а для ТН «ґрунт-вода» – 39 %.

## Бібліографічні посилання:

1. Arseniev, V. M., & Meleichuk, S. S. (2018). *Teplovi nasosy: osnovy teorii i rozrakhunku* [Heat pumps: basics of theory and calculation]. Tutorial. Sumy: SDU. 364 p. (in Ukrainian)
2. Bezrodnyi, M. K., & Prytula, N. O. (2012). *Enerhetychna efektyvnist teplonasosnykh skhem teplopостachannia* [Energy efficiency of heat pump schemes of heat supply]. monograph. K: NTUU «KPI». 208p. (in Ukrainian)
3. Bezrodnyi, M. K., & Galan, M. A. (2011). *Termodynamichna efektyvnist teplonasosnykh system povitrianoho opalennia* [Thermodynamic efficiency of heat pump systems of air heating]. *Scientific news of NTUU «KPI»*. No. 6. P.30-35. (in Ukrainian)
4. Bezrodnyi, M. K., Pukhovyi, I. I., & Kutra, D. S. (2013). *Teplovi nasosy ta yikh vykorystannia* [Heat pumps and their use]. Tutorial. Kyiv: NTUU «KPI» 312 p. (in Ukrainian)
5. Bosyi, M. V. (2022). *Enerhetychna efektyvnist povitrianoho teplovoho nasosa na ekolohichno chystomu robochomu tili propani* [The energy efficiency of an air heat pump based on an ecologically clean working medium of propane]. *Scientific journal «Scientific Notes of the Tavra National University named after V.I. Vernadsky». Series: Technical sciences*. Vol. 33 (72), № 4. P. 144-148. URL: <https://tech.vernadskyjournals.in.ua/33-72-4> (in Ukrainian)
6. Bosyi, M. V. (2022). *Heat pumps for heating and hot water supply of agro-industrial enterprises [Teplovi nasosy dlia teplopостachannia ta hariachoho vodopostachannia ahropromyslovykh pidpriemstv]*. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series "Mechanization and automation of production processes"*, issue No. 2 (48). P. 3-8. (in Ukrainian)
7. Bosyi, M. V. (2022). *Teplovi nasosy – enerhoefektyvne vidnovliuvalne ekolohichno chyste dzherelo toploty* [Thermal pumps are energy efficient, environmentally friendly, and provide warmth]. *Moderní aspekty vědy: XXI Díl mezinárodní kolektivní monografie Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Publishing Group «Vědecká perspektiva»* P. 357-380. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-21.pdf> (in Ukrainian)
8. Bosyi, M. V. (2022). *Teplovi nasosy dlia teplopостachannia ta hariachoho vodopostachannia pidpriemstv mashynobuduvannia* [Heat pumps for heating and hot water supply of machine-building enterprises]. *Naukovyi zhurnal «Rozvytok transportu». Odeskyi natsionalnyi morskyy universytet*. 3(14). P. 69-82. URL: <https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/175/313> DOI <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.06> (in Ukrainian)
9. Bosyi, M. V. (2022). *Teplovi nasosy dlia teplopостachannia ta hariachoho vodopostachannia pidpriemstv mashynobuduvannia* [Heat pumps for heating and hot water supply of machine-building enterprises]. *Naukovyi zhurnal «Rozvytok transportu». Odeskyi natsionalnyi morskyy universytet*. № 3(14). P. 69-82. URL: <https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/article/view/175/313> DOI <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.06> (in Ukrainian)
10. Bosyi, M. V. (2022). *Termodynamichna enerhoefektyvnist heotermalnoho teplovoho nasosa na hruntovykh vodakh* [Thermodynamic energy efficiency of a geothermal heat pump on groundwater]. *Moderní aspekty vědy: XX. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Publishing Group. «Vědecká perspektiva»* P. 556-568. URL: [http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36\\_1.html](http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_1.html). (in Ukrainian)
11. Bosyi, M. V., & Kuzyk, O. V. (2020). *Efektyvnist tsykladu teplovoho nasosa dlia teplopостachannia* [Efficiency of the heat pump cycle for heat supply]. *Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*. Vol. 3(34). P.136-142. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10447>. (in Ukrainian)
12. Bosyi, M. V., & Kuzyk, O. V. (2022). *Teplovi nasosy dlia opalennia ta hariachoho vodopostachannia* [Heat pumps for scorching and hot water supply]. *Findings of modern engineering research and developments: Scientific monograph*. Riga. Latvia: «Baltija Publishing». P. 24-40. URL: <http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217> (in Ukrainian)

13. Bosyi, M. V., Kropivnyi, V. M., & Kuzyk, O. V. (2022). Termodynamichne doslidzhennia tsykladu teplovoho nasosu «hrunt-voda» dlia systemy opalennia prymishchennia [Thermodynamic study of the soil-water heat pump cycle for the room heating system]. *Scientific journal Visnyk of the Kremenchuk National University named after M. Ostrogradskyi. Kremenchuk*: № 1(132). P. 165-172. URL: <http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/pravila.php>. (in Ukrainian)
14. Bosyi, M. V., Kropivnyi, V. M., Kuzyk, O. V., Kropivna, A. V., & Molokost, L. A. (2022). Termodynamichna enerhoefektyvnist parokompresiinoho teplovoho nasosa na hruntovykh vodakh [Thermodynamic energy efficiency of a vapor compression heat pump on groundwater]. *Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*. Vol. 5(36). P. 47-54. URL: [http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36\\_I.html](http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_I.html) (in Ukrainian)
15. Bosyi, M.V. (2022), Termodynaichna enerhoefektyvnist tsykladu teplovoho nasosa «hrunt-voda» na propane [Thermodynamic energy efficiency of the "soil-water" heat pump cycle on propane]. Praha České republika *Věda a perspektivy* № 10(17). P.127-142. URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/vp/article/view/2728/2737> (in Ukrainian)
16. Maliarenko, V. A., & Lysak, L. V. (2004). Enerhetyka, dovkillia, enerhozberezhennia [Energy, environment, energy saving]: Rubicon. 368 p. (in Ukrainian)
17. Ostapenko, O. P. (2015). Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia. Teplovi nasosy [Refrigeration equipment and technology. Heat pumps]. Tutorial. Vinnytsia: VNTU. 123 p. (in Ukrainian)
18. Pisarev, V. Ie. (2002). Teplovi nasosy ta kholodylni ustanovky [Heat pumps and refrigeration units]. Tutorial. K: KNUBA. 124 p. (in Ukrainian)
19. Sirko, Z. S., Korenda, V. A., Vyshniakov, I. Iu., Protasov, O. S., & Okhrimenko S. M., Tsiren N. L. (2020). Vykorystannia teplovykh nasosiv dlia opalennia ta hriachoho vodopostachannia budivel pidpriemstv na prykladi ustanovok Helioterm [The use of heat pumps for heating and hot water supply of enterprise buildings on the example of Helioterm installations]. *Scientific reports of NUBiP of Ukraine. Technology and energy of agricultural industry*. № 5 (87). (in Ukrainian)
20. Sniezhkin, Yu. F., Chalaiev, D. M., Shavrin, V. S., & Dabizha, N. O. (2008). Teplovi nasosy v systemakh teplokhodopostachannia [Heat pumps in heating and cooling systems]. Under. ed. Acad. NAS of Ukraine A.A. Dolinskyi; National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Technology thermophysics. To: 104 p. (in Ukrainian)
21. Tkachenko, S. I., & Ostapenko, O. P. (2009). Parokompresiini teplonasosni ustanovky v systemakh teplopостachannia [Steam compression heat pump installations in heat supply systems]. Monograph. Vinnytsia: VNTU. 176 p. (in Ukrainian)

**Bosyi M. V.**, Senior Lecturer, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

**Bosa O. A.**, student of higher education, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

#### **Efficient and environmentally clean heat pump system of heating and hot water supply for agricultural businesses**

Currently, the changes taking place in the agricultural production of Ukraine require the creation and development of new heat pump technologies that are used for heat supply of agricultural enterprises. This work examines the problem of using a water heat pump (HT), which works on regenerative energy sources and uses low-potential heat of water from rivers, lakes, and groundwater for heat supply to rural enterprises. The purpose of the work is to evaluate the effectiveness of the application of the vapor compression cycle of water TN at agricultural production enterprises from a thermodynamic point of view. The thermodynamic characteristics and peculiarities of operation of water-to-water TN for agricultural enterprises were analyzed and the factors affecting their energy efficiency were evaluated. The effect of water temperature on the heat productivity of such a TN is also shown and analyzed. To increase the efficiency of the heat supply system of an agricultural enterprise, a scheme of a heat pump system for the selection of low-potential heat with the use of a «water-water» heating system is proposed. The conducted studies indicated the sufficient efficiency of the use of water heaters due to water as a low-potential source and their advantage over other heat-generating equipment. Water heaters consume energy from low-potential sources, while reducing heat supply costs by more than half. From the point of view of economy, it is advantageous to use "water-water" TN for the disposal of low-potential heat flows. At the current level, analyzing the thermodynamic efficiency of heat supply systems using heat pumps in agriculture, it can be concluded that in modern economic conditions it is necessary to develop heat supply systems using steam-compression water heaters, and this, in turn, significantly increases the characteristics of heat supply equipment, which is used in agricultural enterprises.

**Key words:** water heat pump, agricultural production enterprises, low-potential heat source, heat supply systems, transformation coefficient, exergetic efficiency coefficient.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ І ПРОВЕДЕННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ У РОСЛИННИЦТВІ

**Зубко Владислав Миколайович**

доктор технічних наук, професор  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-2426-2772  
vladyslav.zubko@snau.edu.ua

**Хворост Тетяна В'ячеславівна**

кандидат економічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-8863-8126  
tetiana.khvorost@snau.edu.ua

**Тесленко Олена Володимирівна**

PhD студент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0009-0001-3177-9462  
olena.vl.teslenko@gmail.com

**Барабаш Григорій Іванович**

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-1075-479X  
grinya45@ukr.net

**Омельченко Євгеній Михайлович**

PhD студент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0009-0009-2710-9579  
evgeniy.mh.omelchenko@gmail.com

**Романовський Максим Олександрович**

PhD студент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0009-0007-6500-6437  
M.o.romanovskiy@gmail.com

*Сучасний аграрний сектор має великий вплив на динаміку економічного розвитку країни. На тлі повномасштабної війни в Україні, відбувається значне зменшення посівних площ. На тих угіддях, які обробляються треба забезпечити максимальне можливе збільшення продуктивності виробництва, шляхом поліпшення якості технологічних операцій, оптимізації режимів руху машинних агрегатів при забезпеченні механізованих агротехнологій та зменшення витрат на виробничий процес.*

*Тому такий показник, як продуктивність і шляхи його підвищення не просто задача номер один, яка стоїть перед аграріями, а національний пріоритет.*

*У статті підняті питання необхідності підвищення ефективності агровиробництва, в умовах війни. Наголошено на необхідності впровадження інновацій – стимулювання досліджень та розробок нових технологій та матеріалів для виробництва та експлуатації техніки для агровиробництва. Наприклад, таких, технологій, як «GIS technologies». Розглянуто один із методів ефективного управління продуктивністю – «precision farming».*

*Аналіз останніх досліджень та публікацій показує, що у сучасних умовах розвитку ринкових відносин ефективність машинних агрегатів має велике значення. Досягнення високої ефективності техніки у сільському господарстві дозволяє збільшити врожайність, знизити витрати та підвищити конкурентоспроможність агровиробництв.*

*Наукова спільнота визначила, що продуктивність МА залежить від багатьох показників, які пов'язані між собою, а саме: швидкість руху, ширина захвату, номінальна потужність двигуна, тягове зусилля засобу, спосіб розвороту, коефіцієнт робочих ходів, ефективне використання робочого часу та ін.*

*Дослідження застосування часу зміни оператора трактора та раціональне використання тракторного агрегату було більш детально розглянуто в статті.*

Були проведені експерименти методом хронометражного спостереження наступних технологічних операцій: збирання рослинних решток (методом мульчування), збирання урожаю (кукурудза), оранка.

Наведені такі дані: тривалість проведення кожного елементу технологічної операції; конструктивну та фактичну ширину захвату; витрати палива за досліджуваний проміжок часу, порівняно з показниками комонцентру енергетичного засобу; тривалість кожного елементу робочого часу та тривалість всіх операцій разом за досліджуваний проміжок часу.

Розрахунковим методом визначено наробіток (тривалість або обсяг роботи):

- визначено продуктивність машинного агрегату – змінну (з використанням навігаційної системи машинного агрегату) та фактичну (на основі зібраних даних, отриманих після проведення хронометражу);

- визначено продуктивні та непродуктивні затрати часу та за допомогою коефіцієнту використання часу зміни визначено чисту роботу машинно-тракторного агрегату.

Розраховані та проаналізовані коефіцієнт використання часу зміни та продуктивність МА за досліджуваний період використання, для оцінки ефективності експлуатації МА на досліджуваних господарствах.

**Ключові слова:** технологічна операція, машинний агрегат, хронометраж, продуктивність, якість, коефіцієнт використання часу зміни, швидкість руху, ширина захвату, precision farming.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.5>

**Вступ.** Основною умовою високого рівня соціально-економічного розвитку села є продовольче та сировинне забезпечення країни, її економічної незалежності. Як було закріплено в законодавстві України принцип пріоритетності соціального розвитку села та агропромислового комплексу, який зберігається в ньому і до цього часу (Закону України, Документ 400-XII, 1990).

В сучасному аграрному виробництві України необхідно виділити чотири основні групи виробників агропродукції: домашні господарства; приватні підприємства; підприємства колективної власності, які є більш характерними для малого і середнього агровиробника; агрохолдинги, які можуть бути, як малими, так і великими агровиробниками. Великі форми агро вибирають холдингову форму організації.

Особливістю кожного типу підприємств є різний земельний банк, відповідно різний кількісний і якісний склад комплексів машин та використання систем ефективної роботи техніки при виробництві продукції рослинництва. Це обумовлено ступенем фінансового забезпечення та рівнем запровадження систем «Precision Farming» у господарстві.

Виробнича діяльність фермерських господарств і аграрних підприємств, в умовах ринкової економіки, все частіше набуває форми підприємницького бізнесу. На сучасному етапі розвитку аграрного виробництва та зі зміною земельного банку агровиробникам дається свобода у виборі та визначення напрямку виробництва, обсягів посівних площ, постачальників потрібних ресурсів та ринків збуту аграрної продукції.

Але в умовах складної економічної ситуації, фінансової кризи, яку спричинила війна, перед агровиробниками постають нові виклики, які потребують від керівників та фахівців розробки та ухвалення управлінських рішень, які вимагають принципово нових підходів організації агробізнесу та ефективного менеджменту.

Одним з ефективних важелів на підвищення ефективності агровиробництва є впровадження нових технологій в аграрному бізнесі, таких наприклад, як «GIS technologies». Новітні технології дають можливість покращувати якість врожаю, зменшувати витрати пального, посівного матеріалу, добрив, впливати на розподіл робочої сили, логістику, тим самим дають можливість

збільшити прибутки та зменшити використання ресурсів та найголовніше зменшити руйнівний вплив на довкілля.

Однією з таких технологій є метод «Precision Farming». Під назвою «точне землеробство», на думку автора статті (Soloviov A.I., 2014) розуміється управління продуктивністю посівів з урахуванням змінності факторів, що впливають на рослини в межах полів.

Системи «Precision Farming» базуються на новому погляді на агровиробництво, в якому аграрні угіддя, неоднорідне за агрохімічним вмістом поживних речовин, за рельєфом та потребує, умовно кажучи, застосування оптимального управління для кожного квадратного метра поля (Tochne..., 2023).

З впровадженням технології «Precision Farming» вимоги до рівня знань та формату праці оператора енергетичного засобу кардинально змінились. На сьогодні тракторист-машиніст за своїм характером діяльності наближається до праці індустріального працівника та спеціаліста технолога агровиробництва, тим самим вимагаючи від оператора трактора не лише фізичних, але й розумових зусиль.

Відповідно і ступінь використання допоміжних систем на агротехніці також різний. Сучасні системи не лише направлені на максимальне забезпечення потреб рослин, а і на підвищення ефективності роботи самого оператора, а значить і на зміну  $\tau$  (коефіцієнт використання часу зміни).

**Аналіз останніх публікацій.** На думку автора статті (Kutkovetska T.O. & Berezovskyi A.P., 2020) одним з головних показників роботи машинних агрегатів (МА) є якість виконання механізованих технологічних операцій. Для деяких із них вона залежить від якості технологічних матеріалів. Показники якості дають змогу оцінити роботу МА на предмет дотримання оптимальних умов для росту і розвитку рослини (Antoshchenkov V.M. & Antoshchenkov R.V., 2011).

Конструктивні параметри МА розраховані на визначену якість виконання механізованих робіт, але у виробничих умовах вони реалізуються не повністю. Причина – це склад ґрунтів, технічне налагодження агрегату, стан робочого матеріалу, погодні умови, кваліфікація механізатора і так далі (Melnyk I.I., et.al., 2007).



Склад комплексів машин, а також структура машинного парку, в цілому обумовлюється механізованими технологічними процесами вирощування та збирання продуктів агровиробництва, основою яких є технологічні операції, що передбачають виконання необхідних і достатніх обсягів робіт, починаючи з підготовки ґрунту і завершуючи збиранням та первинною обробкою (Zubko V. M., 2008).

Наукова спільнота (Pratt, Alejandro & Yu, Bingxin, 2008, Headey D., et.al. 2010, Aweke C.S., et.al., 2021, Alene A.D., 2010) визначила технологічні зміни, як основне джерело зростання продуктивності аграрного виробництва. Однак важливо зазначити, що впровадження інновацій у чітко визначеному контексті є важливим для спостереження за технічною еволюцією, а стійка та добре структурована система досліджень в АПК, є необхідною умовою для розробки цих інновацій (Yannick Fosso Djoumessi, 2021).

Одним із найважливіших показників ефективності функціонування МА є продуктивність роботи ( $I$ ) за 1 годину основного часу. На практиці вона характеризується робочою швидкістю руху МА ( $V_p$ ) та робочою шириною захвату ( $B_p$ ) МА (Nadykto, V. T. & Kiurchev, V. M., 2018).

Продуктивність МА значною мірою залежить від робочої ширини захвату, швидкості руху, номінальної потужності двигуна, тягового зусилля енергетичного засобу, коефіцієнту робочих ходів, а також від раціонального використання робочого часу (Dovzhyk M. Ya, et.al., 2021).

Існує багато питань, які є предметом для подальших досліджень щодо ефективної організації і проведення механізованих технологічних операцій у рослинництві. Тому вказана проблема є дуже актуальною.

**Постановка завдання.** Завданням статті є дослідження ефективності організації і проведення механізованих технологічних операцій у рослинництві; дослідження складових часу зміни та якості операцій.

**Мета дослідження.** Дослідження часу зміни використання машинних агрегатів на різних механізованих технологічних операціях хронометражем у різних типах господарств.

#### Матеріали і методи досліджень:

##### Обладнання:

Листи спостереження (хронометражу), навігатор, шпагат, сажень, лазерна рулетка, дерев'яні кілки, металева лінійка, щуп, секундомір, олівці.

##### Основні задачі хронометражного дослідження:

- аналіз основних умов, в яких виконувалась механізована технологічна операція;
- визначення витрат палива машинними агрегатами;
- визначення кінематичних розмірів машинних агрегатів;
- визначення складових елементів робочого часу зміни при виконанні механізованих технологічних операцій та часу на їх виконання;
- визначення наробітку (тривалість або обсяг роботи);
- визначення продуктивності машинного агрегату – змінну (з використанням навігаційної системи машинного агрегату) та фактичну (на основі зібраних даних, отриманих після проведення хронометражу, за формулою);
- визначення продуктивних та непродуктивних витрат часу та за допомогою коефіцієнту використання часу зміни визначити чисту роботу МА.

Хронометражні спостереження проводились у господарствах третьої та четвертої групи. Вихідні дані під час проведення експериментів наведені в таблиці 1.

##### Опис методики проведення спостережень і застосування методів дослідження:

*Підготовка до проведення хронометражних спостережень (підготовчий):*

1. В лист спостереження занесені наступні дані:

- назву агрегату, вид робіт, відомості по досліджуваному господарству, прізвище та ініціали оператора трактора та хронометражиста;

Таблиця 1

Вхідна інформація для проведення дослідження

| № з/п | Місце проведення                    | Дата проведення | Вид обробітку                | Склад машинних агрегатів                                  | Рельєф та ґрунт               | Умови проведення хронометражу                                                                                                |
|-------|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Сумська область, Лебединський район | 24.10.2023      | Подрібнення рослинних решток | Case 400, (трактор 17:693; машина 20:355, 20:378), Balzer | З похилом; супісковий         | Фон – стерня; Забур'яненість – невелика; Вологість ґрунту – невелика; Висота стеблостою – 24 см.                             |
| 2     | Сумська область, Сумський район     | 08.11.2023      | Збирання кукурудзи           | Jon Deer S670i, Olimac Draga SR                           | Рівний, з похилом; супісковий | Фон – засіяне поле; Забур'яненість – невелика; Вологість ґрунту – дуже висока; Висота стеблостою – 196 см.                   |
| 3     | Сумська область, Сумський район     | 10.11.2023      | Збирання кукурудзи           | Jon Deer S670i, Olimac Draga SR                           | Рівний, з похилом; супісковий | Фон – засіяне поле; Забур'яненість – невелика; Вологість ґрунту – дуже висока; Висота стеблостою – 196 см.                   |
| 4     | Сумська область, Сумський район     | 24.11.2023      | Класична оранка              | Jon Deer 8320R, плуг Pottinger Servo 6.50                 | Рівний, з похилом; чорнозем   | Фон – стерня; Забур'яненість – немає; Глибина обробітку – 28 см; Стан ґрунту – підмерзлий ґрунт; Висота стеблостою – 24,2 см |



– умови та характеристики умов, де проходить експеримент (використовуючи сажень виміряти довжину та ширину загінки, накреслити схему поля, визначити рельєф, тип ґрунту, агрофон поля, забур'яненість, вологість ґрунту, глибину обробітку, висоту стеблостою (солоність));

– зафіксовано реальний обсяг палива в баку перед початком технологічної операції;

– проведені виміри конструктивних розмірів МА.

2. Визначення координат поля та його форми.

*Проведення спостереження (основний етап):*

1. Зафіксовано у листі спостереження (хронометражу) час початку та закінчення кожного з елементів робочої зміни.

2. Зафіксовано у листі спостереження (хронометражу), з використанням навігаційної системи МА буксування та його швидкість при цьому.

3. Записані примітки в таблицю хронометражу.

4. Уточнена робоча ширина захвату: заміряно ширину обробленої ділянки після кількох проходжень МА.

5. Визначені якісні показники роботи МА.

*Обробка зібраних даних (заключний):*

1. Визначено тривалість проведення кожного елементу технологічної операції у відповідності до листа хронометражу (визначено шляхом віднімання часу завершення операції від часу початку наступної операції).

2. Визначено фактичну ширину захвату. За допомогою лазерної рулетки виміряно фактичну ширину загінки. Ширина декількох заїнок визначається шляхом ділення отриманої величини на кількість гонів.

3. Визначено витрати палива за досліджуваний проміжок часу та порівняно з показниками «Common Centre» енергетичного засобу.

4. Визначено тривалість кожного елементу робочого часу та тривалість всіх операцій разом за досліджуваний проміжок часу.

5. Визначено наробіток (тривалість або обсяг роботи):

– продуктивність МА – змінну (з використанням навігаційної системи МА) та фактичну (на основі зібраних даних, отриманих після проведення хронометражу, за формулою);

– продуктивні та непродуктивні затрати часу та за допомогою коефіцієнту використання часу зміни визначено чисту роботу МА.

**Результати досліджень.** Для визначення продуктивності найчастіше використовують наступну формулу (Nadykto V.T., et.al., 2019, Olasiuk Ya.V. 2016, Barabash H.I., et.al., 2014, Shuliak M., et.al., 2023, Melnyk V.I., et.al., 2022):

$$W = 0,1 B_p V_p t, \quad (1)$$

де  $V_p$  – робоча швидкість МА, (км/год.);

$B_p$  – робоча ширина захвату МА, (м);

$t$  – коефіцієнт використання часу зміни МА.

Підвищення продуктивності за рахунок збільшення швидкості агрегату та робочої ширини захвату не дає пропорційного приросту продуктивності польового МА.

Збільшення робочої швидкості машинного агрегату призводить до питомих витрат пального та недотримання технологічного процесу. Також робота на підвищених швидкостях, які відрізняються від нормативно встановлених для кожного МА і технологічної операції, спричиняє збільшення буксування, особливо при вологому ґрунті, що в свою чергу призведе до витрат пального. Робочі органи, при збільшенні швидкості, працюють інтенсивніше, що веде до неполадок та несправностей МА і призводить до непродуктивних втрат робочого часу на технічне та технологічне обслуговування і ремонт МА, та загалом до підвищення собівартості виробленої продукції. Тому іноді, при нерівній поверхні поля, наявності борозен, западин чи інших перешкод досвідчений оператор МА вдається до маневрування швидкісними режимами, що суттєво не призведуть до втрат палива та не вплинуть на якість виконання робіт. (Volodymyr Syvolapov et.al., 2016).

Використання широкозахватних МА або збільшення ширини захвату робочого органу не дасть суттєвого результату. Зміна ширини захвату або використання широкозахватних польових агрегатів, відбувається за рахунок збільшення потужності та маси польової машини, що супроводжується зростанням вартості агрегату, ущільненням ґрунту та збільшенням питомих витрат палива. (Volodymyr Syvolapov et.al., 2016).

Тому, коефіцієнт використання робочого часу зміни МА є одним з основних можливостей підвищити продуктивність. У балансі часу зміни є велика кількість складових, що показує непродуктивні затрати часу, які необхідно зменшувати, а збільшувати час чистої роботи МА.

Денна робоча зміна оператора трактора починається о 08.00 та закінчується о 19.00. Нічна зміна – початок о 20.00, закінчення о 07.00.

Окрім безпосередньої (чистої) роботи на полі, робоча зміна включає:

– підготовка трактора і робочої машини, агрегування і попередня наладка агрегату проводиться двома операторами. Час підготовки операторами 20-40 хвилин;

– перерва на прийом їжі триває 20-30 хвилин через кожні 5 годин;

– кожні 5 годин оператор трактора робить дві зупинки по 10-15 хвилин (сюди входить час на особисті потреби та огляд МА).

Також до часу роботи оператора МА входять наступні види робіт: вибір способу руху в загінці; тип розворотів; затрати часу на допоміжні операції (механізація завантаження зерна, добрив і насіння у сівалки, вивантаження зерна з бункера на ходу та ін.).

Слід зазначити, що тривалість робочої зміни може тривати до 24 години, хоча такий фактор, як втома оператора МА дуже недооцінюють, і він призводить до простою МА, іншими словами, до непродуктивних втрат робочого часу зміни.

Що стосується сівби, садіння, обприскування та збирання деяких культур, то на таких технологічних операціях роботи виконують протягом світлового дня.

На прикладі досліджуваних господарств розглянемо продуктивні і непродуктивні затрати часу. Експлуатаційно-технологічні показники роботи МА наведені в таблиці 2.

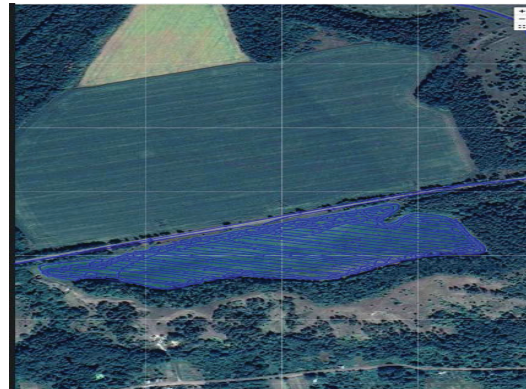
На прикладі досліджуваних господарств приведені зведені показники використання часу та проведені розрахунки по хронометражним спостереженням роботи МА в таблиці 3.

**Результати та обговорення.** З наведених вище розрахункових даних бачимо низький показник коефіцієнта використання часу зміни ( $\tau$ ) та, відповідно, невелику продуктивність МА ( $W$ ). Проаналізувавши досліджувані фактичні дані використання робочого часу, можемо зробити висновок, що збільшення непродуктивних витрат часу значно зменшило зазначенні показники. А саме, на них вплинули такі фактори, як:

*Аналізуючи технологічну операцію «Подрібнення рослинних решток методом мульчування» встановлено:*

– ділянка у першому досліджуваному господарстві має неправильну форму, відповідно з різною довжиною гону, має кут нахилу  $3^\circ$  (рис.1). Щоб забезпечити якісне виконання операції «подрібнення рослинних решток» МА рухався під кутом  $15^\circ$  до рядів посіву. Ці маневри призвели до непродуктивних витрат часу за

рахунок збільшення кількості поворотів, переїздів та доїздів на інші полоси, а також до питомих втрат пального.



**Рис. 1. Контур поля, дослід №1 (подрібнення рослинних решток методом мульчування)**

*Аналізуючи технологічну операцію «Збирання кукурудзи на зерно» встановлено:*

Таблиця 2

**Експлуатаційно-технологічні показники роботи МА**

| Показники                                      | Вид технологічної операції   |                             |                             |                 |
|------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
|                                                | Подрібнення рослинних решток | Збирання урожаю (кукурудза) | Збирання урожаю (кукурудза) | Класична оранка |
| Швидкість руху, км/год                         | 8-9                          | 5.5-7                       | 5.5-7                       | 7-8             |
| Ширина захвату, м:                             |                              |                             |                             |                 |
| – конструктивна                                | 8.1                          | 5.6                         | 5.6                         | 3.4             |
| – фактична                                     | 8.18                         | 5.6                         | 5.6                         | 3.52            |
| Продуктивність за досліджуваний період, га/год | 3.75                         | 0.58                        | 1.07                        | 2.07            |
| Питомі витрати пального, л/га:                 |                              |                             |                             |                 |
| – норма пального                               | 5                            | 15-17                       | 15-17                       | 20              |
| – фактичні витрати                             | 9.3                          | 27.7                        | 26.5                        | 27.2            |
| Коефіцієнт використання часу зміни             | 0.52                         | 0.13                        | 0.27                        | 0.53            |

Таблиця 3

**Зведені показники використання часу**

| Технологічні операції        | Основний час роботи ( $T_p$ ), хв:с | Повороти, заїзди і доїзди на заїзках ( $T_{пов}$ ), хв:с | Технологічні зупинки ( $T_{зх}$ ), хв:с | Усунення неполадок ( $T_{ун}$ ), хв:с | Переїзди на інші ділянки ( $T_{пер}$ ), хв:с | Очікування автоомобіля/перевантажувача ( $T_{оч.авт.}$ ), хв:с | Обід, хв:с | Інші простой ( $T_{інш}$ ), хв:с | Загальна тривалість роботи, хв:с | Коефіцієнт використання часу зміни, т | Продуктивність МА, Вт, га/год |
|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Подрібнення рослинних решток | 59:41                               | 13:47                                                    | 10:26                                   | –                                     | 04:51                                        | –                                                              | 23:36      |                                  | 112:21                           | 0.52                                  | 3.75                          |
| Збирання урожаю (кукурудза)  | 29:04                               | 28:32                                                    | 12:03                                   | 129:12                                | –                                            | 10:51                                                          | –          | 07:57                            | 217:39                           | 0.13                                  | 0.58                          |
| Збирання урожаю (кукурудза)  | 130:09                              | 38:41                                                    | 09:41                                   | 02:09                                 | 02:47                                        | 198:38                                                         | 39:45      | 56:25                            | 478:15                           | 0.27                                  | 1.07                          |
| Класична оранка              | 219:57                              | 67:54                                                    | 83:35                                   | –                                     | –                                            | –                                                              | 31:16      | 10:42                            | 414:24                           | 0.53                                  | 2.07                          |

– дослідження проводилось на рівній ділянці з кутом нахилу 1°, культура – кукурудза, ширина захвату визначалась кількістю рядків, 8 рядків з міжрядковою відстанню у 70 см. Збирання кукурудзи проводилось в умовах високої вологості ґрунту, кількість комбайнів – 5 одиниць, кількість перевантажувачів – 3 одиниці. Контури досліджуваних ділянок наведені на рис. 2-3.



Рис. 2. Контур ділянки, дослід №2.

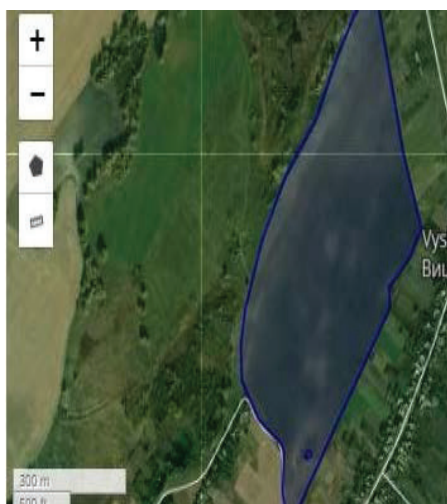


Рис. 3. Контур ділянки, дослід №3.

– висока вологість ґрунту, яка спостерігалась на полі, призводила до непродуктивних втрат часу, а саме, простої МА спричиненні загрузанням комбайну у ґрунті (рис. 4), буксуванням, переїздом до іншого рядка та до іншої заїмки, очікування на від'їзд іншого комбайну з місця загрузання та очікування на буксирувальний трактор, що саме і відбулось на дослідках №2 та №3. І як наслідок, перерви на технологічні зупинки та усунення неполадок, спричинених інтенсивним навантаженням робочих органів комбайну.

Під час збирання перевантажувачам на полі доводиться перевозити великі за об'ємом вантажі протягом короткого періоду часу (Tishchenko L.M., et.al., 2009), щоб забезпечити визначенні агростроки та уникнути простоїв МА.



Рис. 4. Загрузання комбайну на операції «Збирання урожаю»

Аналізуючи збирання кукурудзи на дослідних полях, було виявлено, що при високій зволоженості ґрунту та, щоб уникнути загрузання під час доставки зерна від комбайну до вантажівки, перевантажувачі набирали 2/3 об'єму бункера, від фактичної максимальної його місткості. І, як наслідок, втрати часу на очікування перевантаження зерна кукурудзи склали 209 хв. 29 с. Порівнюючи з основною продуктивною роботою МА, яка складала 159 хв. 12 с за два досліді разом, можна сказати, що агростроки не будуть витримані і наступна технологічна операція – заробка рослинних рештків, не буде виконана або буде виконуватись з порушеннями технологічного процесу, що й доводить дослід №4 – «Оранка».

Тому, під час збирання кукурудзи в умовах, які склалися, слід забезпечувати кожен комбайн одним перевантажувачем або бункером-накопичувачем.

*Аналізуючи технологічну операцію «Оранка»:*

– оранка проводилась плугом з конструктивною шириною захвату 3,4 м, фактична ширина захвату в середньому по замірам відрізнялась від конструктивної на +12 см. Машинний агрегат виконував операцію з застосуванням технології «Precision Farming», що практично виключило перекриття між гонами. Контури досліджуваної ділянки наведений на рис. 5.



Рис. 5. Контур ділянки, дослід №4

– по причині значних опадів оранка виконувалась пізніше від встановлених строків та з порушенням



технологічного процесу, після збирання урожаю повинна проводитись операція мульчування ґрунту. Простої на технологічні зупинки склали 83хв. 39с, були спричиненні зупинками на чищення ґрунту від промерзлого чорнозему (рис.6);



**Рис. 6. Технологічна операція «Оранка»**

– значні витрати продуктивного часу були витрачені на заїзди та повороти агрегату під час виконання технологічної операції. У середньому вони становили приблизно 10 % від загального часу роботи МА. Тому так

важливо правильно визначати ширину поворотної смуги та спосіб розвороту польової машини.

#### **Висновки:**

1. Кожне господарство має індивідуальні технології вирощування агрокультур і, відповідно, характерний машинний парк. У залежності від рівня фінансового забезпечення господарств фіксувався різний рівень впровадження у господарстві «Precision Farming» і різний рівень кваліфікації робітників підприємств.

2. В залежності від рівня впровадження «Precision Farming» у господарстві відрізнялась і організація праці, а саме, застосування електронних систем при виконанні технологічних операцій збільшувало час зміни з 8 до 12 годин.

3. Шляхи підвищення ефективності організації і проведення механізованих технологічних операцій у рослинництві визначаються багатьма факторами, які тісно пов'язані між собою. Тому виникає необхідність у продовженні проведення науково-аналітичних досліджень продуктивності машинних агрегатів на різних механізованих технологічних операціях, які суттєво залежить від повноти використання часу зміни.

4. Подальші дослідження слід зосередити на вивченні питання організації робочого часу зміни для інших технологічних операціях в різних умовах, що дадуть змогу розробити стратегію по підвищенню продуктивності МА.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Alene A.D., (2010). Productivity growth and the effects of R&D in African agriculture *Agric. Econ.*, 41, pp. 223–238
2. Antoshchenkov V.M., Antoshchenkov R.V. (2011). Matematychna model vyznachennia potuzhnosti, neobkhidnoi dlia funktsionuvannia silskohospodarskoho ahrehatu [Mathematical model for determining the power required for the functioning of the agricultural unit]. *Systemy obrobittu informatsii. Vyp. 8. S. 160–162.* (in Ukrainian)
3. Aweke C.S., Hassen J.Y., Wordofa M.G., Moges D.K., Endris G.S., Rorisa D.T., (2021), Impact assessment of agricultural technologies on household food consumption and dietary diversity in eastern Ethiopia *J. Agric. Food Res.*, 4
4. Barabash H.I., Tatsenko O.V., Bakai R.B. (2014). Ekspluatatsiia mashyn i obladnannia – [Operation of machines and equipment]. R. 2. Vykorystannia mashyn v mekhanizovanykh tekhnolohichnykh protsesakh : Praktykum shchodo vykonannia laboratornopraktychnykh robot dlia studentiv 4-ho kursu spetsialnosti 6.100102 “Protsey, mashyny ta obladnannia ahropromysloвого vyrobnytstva” dennoi ta zaochnoi formy navchannia / SNAU. Sumy. 135 p. (in Ukrainian)
5. Dovzhyk M.Ia., Sirenko Yu.V., Kalnahu O.M., (2021). Produktyvnist mashynnykh ahrehativ [Productivist of machine units]. *Materialy mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii «Suchasna inzheneriia ahropromyslovykh i kharchovykh vyrobnytstv»*. – Kharkiv: DBTU., S.561–565 (in Ukrainian)
6. Headey D., & Alauddin M., Rao D.P. (2010). Explaining agricultural productivity growth: an international perspective *Agric. Econ.*, 41, pp. 1-14
7. Kutkovetska T.O., Berezovskyi A.P. (2020). Teoretychne obgruntuvannia pokaznykiv efektyvnosti vykorystannia mashyno-traktornykh ahrehativ pry vykonanni operatsii z obrobittu ґрунту [Theoretical substantiation of the indicators of the efficiency of the use of machine-tractor units when performing soil cultivation operations]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriia: tekhnichni nauky. Tom 31 (70) ch. 2. S.164–167* (in Ukrainian)
8. Melnyk I.I., Tyvonenko I.H., Fryshev S.H. ta inshi. (2007). Inzhenernyi menedzhment [Engineering management]: navchalnyi posibnyk. Vinnytsia : Nova knyha., S. 137. (in Ukrainian)
9. Melnyk V.I., Artomov M.P., Anikieiev O.I., Syrovyskyi K.H., Chyhryna S.A. (2022) Mashynovykorystannia v suchasnomu zemlerobstvi – [Machine use in modern agriculture] : metod. vkazivky № 1, 2 dlia vykonannia prakt. robot studentam pershoho (bakalavrskoho) rivnia vyshchoi osvity dennoi (zaochnoi) formy navch. OPP “Ahroinzheneriia” spets. 208 Ahroinzheneriia / Kharkiv. der. biotekh. un-t. Kharkiv, 75 p. (in Ukrainian)
10. Nadykto V.T., Kiurchev V.M., Aiubov A.M. ta in. 2019. Perspektyvy zrostantia produktyvnosti roboty mashynno-traktornoho ahrehatu – [Prospects for increasing the productivity of the machine-tractor unit]. *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu. Vol. 8(2).* (in Ukrainian)
11. Nadykto, V. T. & Kiurchev, V. M., (2018). Perspektyvy zrostantia produktyvnosti roboty mashynno-traktornoho ahrehata. *Naukovo vyrobnychy zhurnal* [Prospects for increasing the productivity of the machine-tractor unit]. *Tekhnika i tekhnolohii APK № 7 (106).* (in Ukrainian)
12. Olasiuk Ya.V. (2016). Ekspluatatsiia mashyn i obladnannia. Metodychni vkazivky dlia vykonannia kursovoho proektu dlia studentiv spetsialnosti “Ekspluatatsiia ta remont mashyn i obladnannia ahropromysloвого vyrobnytstva” – [Operation of machines and equipment. Methodological guidelines for the implementation of a course project for students of

the specialty "Operation and repair of machines and equipment of agro-industrial production"]. *Liubeshivskiyi tekhnichnyi koledzh Lutskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. Lutsk, 101 p. (in Ukrainian)

13. Pratt, Alejandro & Yu, Bingxin. (2008). An Updated Look at the Recovery of Agricultural Productivity in Sub-Saharan Africa. International Food Policy Research Institute (IFPRI), *IFPRI discussion papers*;

14. Shuliak M., Mikulina M., Mudryi Ya., Pyrohov V. Vplyv (2023) vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ na pidvyshchennia efektyvnosti tekhnolohichnoho protsesu v roslinnytstvi – [The influence of the use of unmanned aerial vehicles on increasing the efficiency of the technological process in crop production]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI"*. Seriya "Avtomobile- ta traktorobuduvannia". Kharkiv. Vol. 12023. P. 133. doi: 10.20998/2078-6840.2023.1.13. (in Ukrainian)

15. Soloviov A.I. (2014). Efektyvne upravlinnia ahrovyrobnystvom na bazi tekhnolohii tochnoho zemlerobstva [Effective management of agricultural production based on precision farming technology Kharkivskiyi natsionalnyi ahraryi universytet] im. V.V. Dokuchaieva. *Ekonomichni nauky* № 6. Kharkiv: S. 169 (in Ukrainian)

16. Tishchenko L.M., Pastukhov V.I., Zaitsev A.S ta inshi. (2009). Transportne zabezpechennia silskohospo-darskoho vyrobnystva. [Transport support of the agricultural trust] *Navchalnyi posibnyk do kursovoho ta dyplomnoho proektuvannia*. Ch 1. Metodyka proektuvannia transportnoho zabezpe-chennia /– Kh.: Faktor, – 172 s. (in Ukrainian)

17. Tochne zemlerobstvo v silskomu hospodarstvi: perevahy, osoblyvosti zastosuvannia (2023). [Precision farming in agriculture: advantage, features of application] *Potoky. Elektronnyi resurs*. URL: <https://zakupka.mez.com.ua/tpost/cb4y2hp3z1-tochne-zemlerobstvo-v-silskomu-gospodarst> (in Ukrainian)

18. Volodymyr Syvolapov, Serhii Kyslyi, Viktor Marchenko, Agroexpert (2016). Yak pidvyshchyty produktyvnist mashynnykh ahrehativ. [How to predict the productivity of machine units]. *Elektronnyi resurs*. URL: <https://agroexpert.ua/ak-pidvisiti-produktivnist-masinnih-agregativ/>. (in Ukrainian)

19. Yannick Fosso Djoumessi, (2021) What innovations impact agricultural productivity in Sub-Saharan Africa. *Journal of Agriculture and Food Research*, Volume 6

20. Zakonu Ukrainy, Dokument 400-XII. «Pro priorytetnist sotsialnoho rozvytku sela ta ahropromyslovoho kompleksu v narodnomu hospodarstvi» ["On the prioritization of the social development of the village and the agro-industrial complex in the national economy" ] vid 17.10.1990 r. (iz nastupnymi zminamy i dopovnenniamy) (in Ukrainian)

21. Zubko V. M. (2008). Analiz khronometrazhnykh sposterezhen za robotoiu mashynnykh ahrehativ pry vyroshchuvanni ta zbyranni ozymoho ripaku [Analysis of time-lapse observations of the operation of machine units during the cultivation and harvesting of winter rapeseed]. *Visnyk SNAU*. – Sumy, – Vyp. 1(17). – S. 60-63. (in Ukrainian)

**Zubko V. M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Khvorost T. V.**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Teslenko O.V.**, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Barabash G. I.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Omelchenko E. M.**, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Romanovsky M. O.**, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Research of the organization and implementation of mechanized technological operations in plant production**

The modern agricultural sector has a great influence on the dynamics of the country's economic development. Against the background of a full-scale war in Ukraine, there is a significant decrease in cultivated areas. On those lands that are cultivated, it is necessary to ensure the maximum possible increase in production productivity by improving the quality of technological operations, optimizing the movement modes of machine units while providing mechanized agricultural technologies, and reducing the costs of the production process.

Therefore, such an indicator as productivity and ways to increase it are not just the number one task facing farmers, but a national priority.

The article raises the issue of the need to increase the efficiency of agricultural production in wartime conditions. The need to introduce innovations is emphasized – stimulation of research and development of new technologies and materials for the production and operation of machinery for agricultural production. For example, such technologies as "GIS technologies". One of the methods of effective productivity management is considered – "precision farming".

The analysis of the latest researches and publications shows that in the modern conditions of the development of market relations, the efficiency of machine units is of great importance. Achieving high efficiency of machinery in agriculture allows to increase productivity, reduce costs and increase the competitiveness of agricultural production.

The scientific community determined that the productivity of the MA depends on many indicators that are related to each other, namely: speed of movement, width of grip, nominal power of the engine, traction force of the vehicle, method of turning, ratio of working moves, effective use of working time, etc.

The study of the application of the tractor operator's shift time and the rational use of the tractor unit was considered in more detail in the article.

Experiments were carried out using the method of time-lapse observation of the following technological operations: harvesting plant residues (using the mulching method), harvesting (corn), classical plowing.

The following data are provided: the duration of each element of the technological operation; constructive and actual width of capture; fuel consumption for the investigated period of time, compared to the indicators of the common center of



the energy vehicle; the duration of each element of working time and the duration of all operations together for the studied time period.

Earnings (duration or volume of work) are determined by the calculation method:

- the performance of the machine unit is determined – variable (using the navigation system of the machine unit) and actual (based on the collected data obtained after the timing);
- productive and non-productive time costs are determined and the net work of the machine-tractor unit is determined using the shift time utilization factor.

Calculated and analyzed the coefficient of use of the shift time and the productivity of the MA for the studied period of use, in order to evaluate the efficiency of the operation of the MA on the studied farms.

**Key words:** technological operation, machine unit, timing, productivity, quality, shift time utilization factor, speed of movement, width of capture, precision farming.

## ПОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТРРОТОРНИХ СТУПЕНІВ ГІДРОМАШИН

**Куліков Олександр Андрійович**

аспірант

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-7222-8766

o.kulikov@pgm.sumdu.edu.ua

**Ратушний Олександр Валерійович**

кандидат технічних наук, доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-3525-0953

o.ratushnij@pgm.sumdu.edu.ua

**Івченко Олександр Володимирович**

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-4274-7693

o.ivchenko@weys.eco

**Козін Віктор Миколайович**

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-9821-7774

kvn.kon82@gmail.com

**Фесенко Денис Іванович**

аспірант

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-6201-7751

clothes.sumy@gmail.com

**Жигилій Дмитро Олексійович**

кандидат технічних наук, доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-7063-7213

d.zhigiliy@omim.sumdu.edu.ua

Досліджено два контрроторні ступені з різними решітками лопатевих дисків насосів. За допомогою програмного комплексу ANSYS CFX визначено поля напірно-енергетичних характеристик ступенів з і без підрізаних лопатей. Відповідно до рекомендацій практики моделювання енергетичних характеристик насосного обладнання, в програмному комплексі прийнято відхилення 5 % між фізичним та числовим моделюваннями.

Досліджено два типи ступенів за конфігурацією конструкції: перший – вузьколопатевий, другий – широколопатевий. Перший етап дослідження полягав у визначенні робочої точки обох контрроторних ступенів та побудові напірно-енергетичних характеристик. Ці характеристики включали зміни напору, потужності та коефіцієнта корисної дії в залежності від подачі насосного обладнання.

Другий етап дослідження включав визначення напірно-енергетичних характеристик та робочої зони контрроторних ступенів з підрізними лопатями на 15 %. Це дозволило передбачити можливе зниження напірних характеристик ступенів, отримати додаткові характеристики ступенів з підрізними лопатями та розширити можливість моделювання роботи відповідного насосного обладнання у ширшому діапазоні напірних характеристик ступенів.

За результатами дослідження отримано робочі точки для побудови енергетичних характеристик, де можливий робочий процес ступенів з різною геометрією (з можливістю підрізки лопатевого колеса до 15 %). Створено поле характеристик, що дозволяє регулювати напірність ступеня за допомогою підрізки.

Перший ступінь показав гарні результати при невеликих подачах, у відміну від другого, який проявив себе гірше як у напірності, так і в енергоефективності.

Встановлено, що не всі контрроторні ступені можна регулювати за допомогою підрізки лопатевого колеса, оскільки це впливає значно більше на напірно-енергетичні характеристики насосного обладнання, ніж звичайне обладнання.

У роботі значення характеристик контрроторних ступенів були обчислені без врахування відповідного пристрою, що може суттєво вплинути на енергетичні характеристики обладнання. Тому наступним етапом досліджень буде створення спірального відводу на базі розроблених ступенів та проведення повноцінних досліджень контрроторних ступенів з відводом, з подальшим порівнянням отриманих енергетичних характеристик відповідних варіантів обладнання.

**Ключові слова:** Насос, контрроторний ступінь, поле напірно-енергетичних характеристик, робоче колесо, підрізка, проектування, чисельне моделювання.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.6>

**Вступ.** Зміна витрати рідини у трубопровідній мережі визиває певну зміну напору і подачі насоса. Тому при підборі насосів необхідно знати залежності між основними їх технічними показниками. Крім зміни напору, відхилення витрати у трубопровідній мережі від розрахункової подачі насоса приводить до зниження ККД насосної установки.

Характеристика, яка побудована за допомогою аналітичної залежності, називається теоретичною. Вона показує тільки якісний взаємозв'язок, наприклад, між напором і подачею. Для отримання характеристик, що відображають кількісну залежність між основними робочими параметрами, проводять випробування реальної машини і лише тоді, після обробки отриманих результатів, будують дійсні або робочі характеристики.

На сьогодні існують програми, на прикладі Ansys CFX, які дозволяють провести математичне моделювання робочого колеса насоса на різних параметрах та отримати його напірні та енергетичні характеристики. Така програма часто використовуються при проектуванні насосного обладнання. Вона дозволяє досить точно визначити параметри насоса в певній робочій точці без затрати часу на виготовлення та випробування спроектованого насоса на стенді. Слід зазначити, що ANSYS CFX неодноразово випробувався при вирішенні задач насособудування, розбіжність результатів чисельного і фізичного моделювання не перевищує 5 %, тому даний програмний продукт придатний для вирішення поставленого завдання дослідження (1; 2; 3).

Під характеристикою насоса розуміють графічну залежність між основними параметрами насоса. Для лопатевих гідромашин це залежність напору  $H$ , потужності  $N$  та ККД  $\eta$  від подачі  $Q$  при постійній частоті обертання, в'язкості і густині перекачуваного середовища на вході в насос.

На характеристиці виділяють режими: оптимальний (режим роботи насоса при найбільшому значенні ККД та номінальний (розрахунковий) – режим, який забезпечує задані технічні параметри насоса.

Зона характеристики насоса, у межах якої рекомендується тривала його експлуатація, називається робочою частиною характеристики або діапазоном роботи. Робоча частина характеристики, як правило, визначається зоною зниження ККД на декілька відсотків від оптимального його значення.

**Постановка проблеми.** Поле насоса (рис. 1) будується в логарифмічному масштабі і охоплює діапазон параметрів, що вимагається для даної області  $Q$  і  $H$ . На поле наносять як дійсні напірні характеристики насосів,

що випускаються, так і розрахункові характеристики насосів, що підлягають освоєнню (4).

Необхідний діапазон  $Q$ – $H$  прагнуть покрити мінімальним числом типорозмірів насосів. Основні параметри насосів ( $Q$  і  $H$ ) беруть відповідно до ряду переважних чисел: межі  $Q$  і  $H$  для кожного насоса передбачають його роботу в зоні оптимальних режимів по ККД, всмоктувальній здатності та ін. На характеристиках наносять умовне позначення насоса, частоту обертання, межу зміни ККД та лінії постійної потужності.

Форми кривих  $H=f(Q)$ ,  $N=f(Q)$  і  $\eta=f(Q)$  значною мірою залежать від  $\eta_s$  (рис. 2). Певному значенню  $\eta_s$  лопатєвого насоса властива своя специфічна форма напірної характеристики  $H=f(Q)$ . Всяка штучна зміна форми кривої  $H=f(Q)$ , як правило, викликає зниження ККД насоса. Форма напірної характеристики характеризується зоною западання ( $Q_{H_{\max}}/Q_{H_0}$ ).

Розрізняють стабільну (безперервно падаючу) і западаючу напірні характеристики.

Під час роботи насосів на загальну мережу, необхідно мати стабільну (безперервно падаючу) форму напірної характеристики. Для визначення крутизни стабільної характеристики замість значення  $H_{\max}$  використовують параметр  $H_0$ .

Помпаж виникає в насосах, які мають насосну характеристику зі спадною лівою гілкою. Таку характеристику мають звичайно тихохідні насоси. Помпаж виникає у випадках, коли характеристика насосного устаткування проходить вище характеристики насоса, характеристика насосного устаткування перетинає характеристику насоса у двох точках або при паралельній роботі насосів, якщо напір при нульовій подачі одного із насосів менший від напору другого насоса при його самостійній роботі на мережу. При помпажі напір коливається у великих межах, спостерігаються гідравлічні удари, шум і трясіння всього насосного устаткування і трубопроводів.

Основною метою дослідження є отримання напірних та енергетичних характеристик контр роторного ступеню для кожної робочої точки та побудова графіків й полів насоса.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- дослідження проточної частини контр роторного ступеня на базі насоса ЦНС-180/1900 та двох контр роторних лопатєвих дисків з різною лопатєвою решіткою;
- проектування робочого колеса та лопатєвих дисків різних конструкцій;
- проведення чисельного дослідження проточної частини насоса;

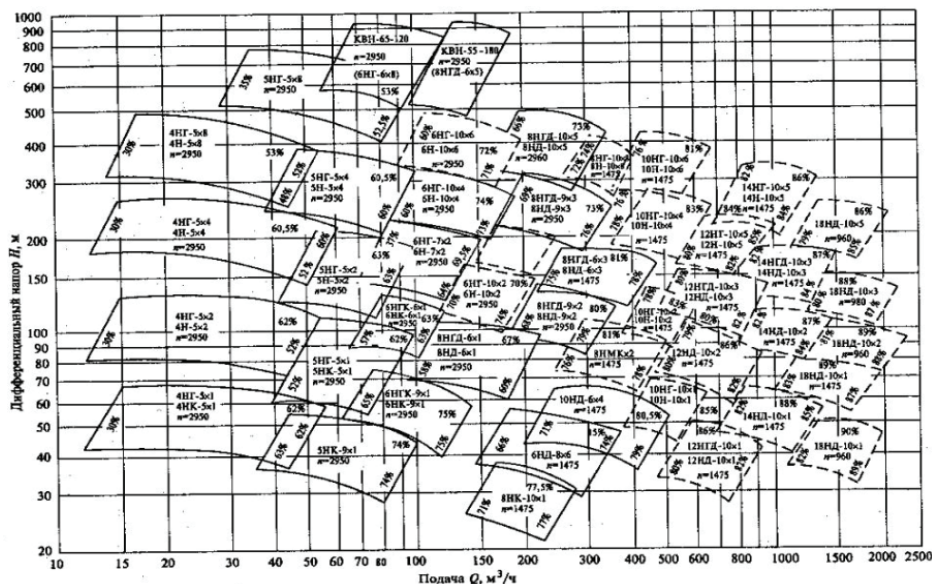


Рис. 1. Поле характеристик відцентрових насосів [4]

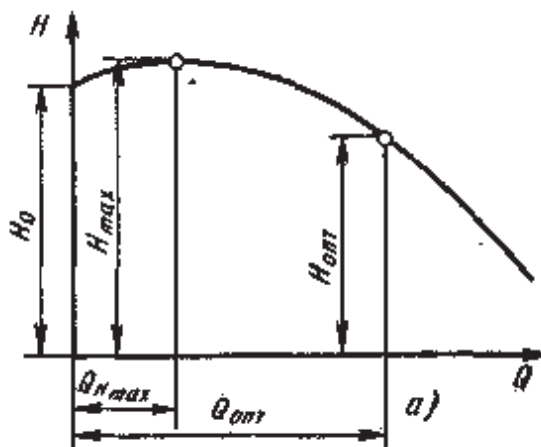


Рис. 2. Форма напірної характеристики [4]

- отримання напірних та енергетичних характеристик контр роторних ступенів різної конфігурації;
- побудова графіків залежності напору, потужності та ККД від подачі;
- побудова полів контр роторних ступенів та порівняння їх з іншими насосами;
- оцінювання одержаних результатів.

**Матеріали і методи досліджень.** Об'єктом дослідження є контрроторний ступінь з базовим робочим колесом насоса ЦНС-180/1900. Для дослідження було створено два лопатевих диска, що відрізнялися лопатевими решітками та робоче колесо. Слід зазначити, що геометричні розміри ступенів наступні: зовнішній діаметр робочого колеса  $D_2 = 302$  мм; зовнішній діаметр лопатевого диска  $D_4 = 410$  мм; зазор між робочими елементами ступенів 2мм. Подача робочого колеса насоса ЦНС-180/1900 в оптимальному режимі складає  $180 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Всього проводилося два етапи досліджень з подачами від  $0,1 \cdot Q_{\text{ном}}$  до  $2,3 \cdot Q_{\text{ном}}$  та вище, в залежності від

отриманих значень характеристики. На першому етапі (рис. 3) за допомогою математичного моделювання були отримані значення напору, ККД та потужності в кожному розрахунковому режимі залежно від подачі для побудови характеристик контрроторних ступенів.

На другому етапі (рис. 4) проводилася підрізка контрроторних ступенів на 15 %. Опираючись на отримані результати попереднього етапу проводилися додаткові дослідження контрроторних ступенів на максимальних значеннях ККД з метою побудови в подальшому поля характеристик досліджуваних систем.

Для проведення дослідження на початку були створені проточні частини робочих коліс та лопатевих дисків з різними конфігураціями лопатевих решіток (рис. 4 а) за допомогою програмного продукту Solid Works.

За допомогою програми ANSYS CFX створені моделі були розбиті на поверхні (рис. 5 б) та створені розрахункові сітки (рис. 5 в).



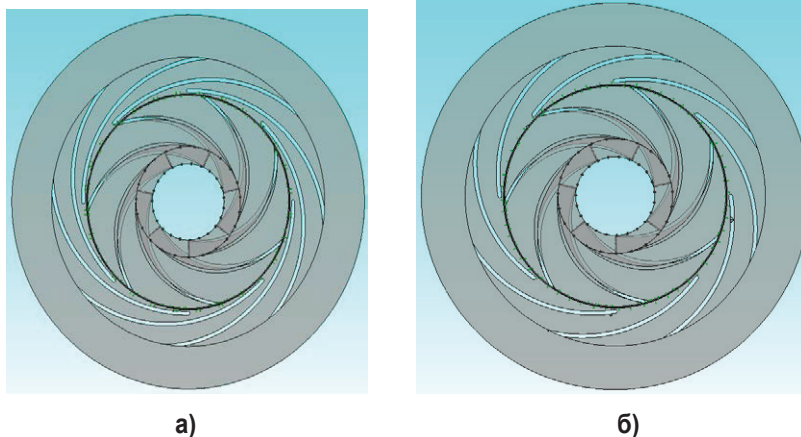


Рис. 3. Контрроторні ступені: а) вузьколопатевий; б) широколопатевий

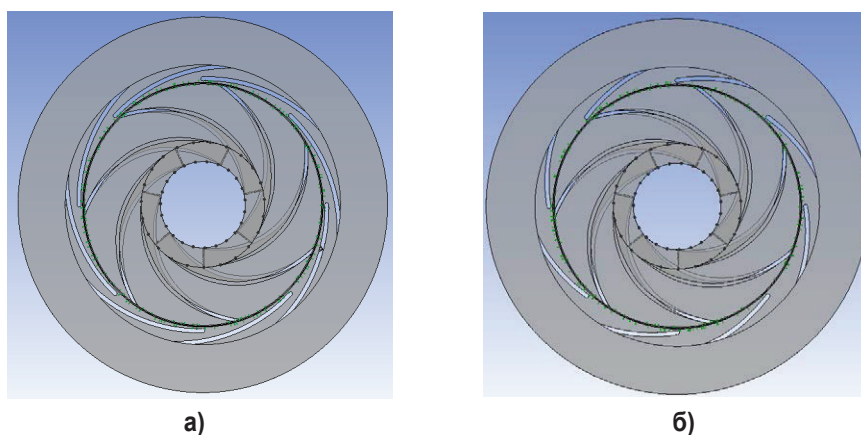


Рис. 4. Підрізані контрроторні ступені: а) вузьколопатевий; б) широколопатевий

Перед дослідженням було проведено розрахунок на сіткову незалежність. Цей тест дає можливість визначити оптимальний розмір комірки сітки для подальших розрахунків. Також цей тест дозволяє отримати якісні розрахунки і бути впевненим, що якість сітки на них не вплине. Під час тесту на незалежність було визначено, що загальний розмір комірок може дорівнювати 7 мм. Кількість призматичних шарів має бути не менше 11, а перший шар має бути 0,04 мм. В середньому кількість комірок у сітці становила приблизно мільйон.

Наступним етапом для кожної моделі були задані умови входу, виходу, налаштування перекачуваного середовища та задавання конкретних приграничних умов, такі як шорсткість стінок та ін. (рис. 5 г). Після чого проводився чисельний розрахунок контр роторних ступенів (рис. 5 д).

В основу даного програмного продукту ANSYS CFX закладений метод чисельного вирішення фундаментальних законів гідромеханіки: рівнянь руху в'язкої рідини спільно з рівнянням нерозривності. Це є достатньою умовою обґрунтованості застосування результатів чисельного дослідження. Слід зазначити, що ANSYS CFX неодноразово випробувався при вирішенні задач насособудування, розбіжність результатів чисельного і фізичного моделювання не перевищує 5%, тому даний програмний продукт придатний для вирішення поставленого завдання дослідження.

**Результати.** На першому етапі дослідження проводилося математичне моделювання контрроторних ступенів двох різних конфігурацій для отримання напірних та енергетичних характеристик на кожному розрахунковому режимі.

Для першого ступеня (рис. 6) були вибрані наступні подачі з кроком в 10 % відштовхуючись від подачі окремого робочого колеса насоса ЦНС-180/1900. Для побудови напірно-енергетичної характеристики контрроторного ступеня було розраховано 23 точки з подачею від 18 м<sup>3</sup>/год до 414 м<sup>3</sup>/год з кроком подачі 18 м<sup>3</sup>/год. Всі отримані дані були занесені до табл. 1, за якими потім було побудовано характеристику даного контрроторного ступеня на рис. 4.

Як можемо побачити з рис. 6, напірна характеристика насоса є пологопадаючою без зони помпажу. Робоча точка змістилася в зону більших подач. Це пов'язано з принципом дії контрроторного ступеня та додаткової області розрідження, що створює лопатевий диск на виході робочого колеса. Найбільший ККД склав 78 % при подачі 234 м<sup>3</sup>/год, що становить  $1,3 \cdot Q_{\text{ном}}$ . Оптимальний діапазон, в якому може працювати насос, становить від 216 м<sup>3</sup>/год до 288 м<sup>3</sup>/год, це відповідає значенням  $1,2-1,6 \cdot Q_{\text{ном}}$ . При чому напір змінюється в межах від 404 м до 343 м, різниця складає 61 м. В даному діапазоні потужність змінюється лише на 32 кВт.

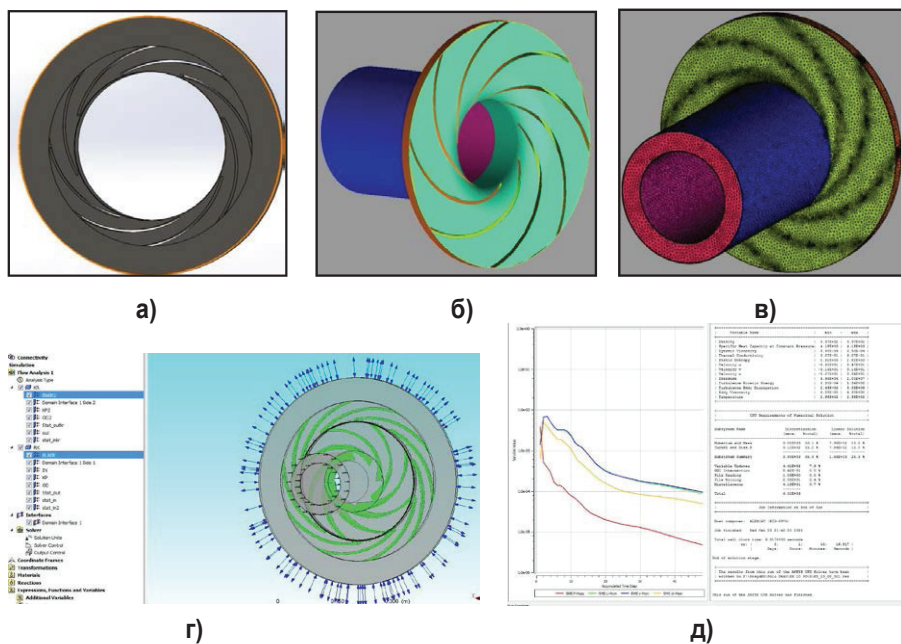


Рис. 5. Етапи проведення досліджень: а) створення 3D-моделі; б) створення стінок; в) створення розрахункової сітки; г) визначення граничних параметрів; д) проведення розрахунку

Таблиця 1

Робочі точки вузьколопатевого контрроторного ступеня без підрізки

|           |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| Q, м³/год | 18   | 36   | 54   | 72   | 90   | 108  | 126  | 144   | 162   | 180   | 198   | 216  |
| H, м      | 430  | 429  | 427  | 428  | 424  | 416  | 414  | 412,5 | 414,7 | 412,6 | 412,8 | 404  |
| N, кВт    | 198  | 209  | 214  | 219  | 234  | 240  | 245  | 265   | 279   | 292   | 302   | 311  |
| ККД, %    | 0,1  | 0,18 | 0,28 | 0,38 | 0,44 | 0,51 | 0,56 | 0,61  | 0,65  | 0,69  | 0,73  | 0,76 |
| Q, м³/год | 234  | 252  | 270  | 288  | 306  | 324  | 342  | 360   | 378   | 396   | 414   |      |
| H, м      | 396  | 377  | 360  | 343  | 292  | 263  | 231  | 197   | 161   | 122   | 82    |      |
| N, кВт    | 323  | 334  | 341  | 343  | 341  | 340  | 338  | 333   | 325   | 315   | 301   |      |
| ККД, %    | 0,78 | 0,77 | 0,77 | 0,75 | 0,71 | 0,68 | 0,63 | 0,58  | 0,5   | 0,42  | 0,31  |      |

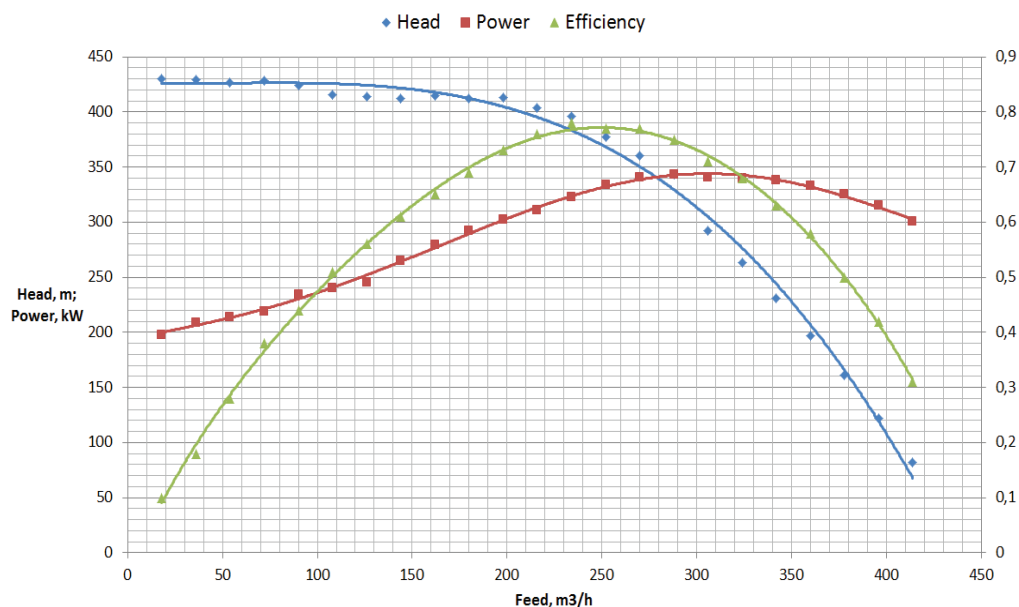


Рис. 6. Характеристика вузьколопатевого контрроторного ступеня без підрізки

У другому дослідженні (табл. 2, рис. 7) був розрахований широколопатевий контрроторний ступінь. Для побудови напірно-енергетичної характеристики цього ступеня було розраховано 17 точок з подачею від 72 м³/год до 648 м³/год з кроком подачі 36 м³/год. Крок подачі склав 20 %, відштовхуючись від подачі окремого робочого колеса насоса ЦНС-180/1900.

Робоча точка змістилась в зону більших подач до 432 м³/год з максимальним значенням ККД 84 %, а робочий діапазон склав в межах від 360 до 504 м³/год. Напір при цьому дуже швидко падає.

На другому етапі дослідження проводилося математичне моделювання контрроторних ступенів двох різних конфігурацій з підрізкою для отримання полів характеристик. В цьому дослідженні проводилася підрізка лопатевих дисків на 15 % в результаті цього зовнішній діаметр лопатевого диску D4 зменшився з 410 мм до 348,5 мм.

Для першого ступеня з підрізкою (табл. 3, рис. 8) було розраховано 8 точок з подачею від 162 м³/год до 288 м³/год з кроком подачі 18 м³/год (10 %).

Для другого ступеня з підрізкою (табл. 4, рис. 9) було розраховано 7 точок з подачею від 288 м³/год до 504 м³/год з кроком подачі 18 м³/год (10 %).

За допомогою отриманих даних були побудовані поля характеристик двох контрроторних ступенів (рис. 10).

Характеристика другого ступеня з підрізкою значно погіршилася, а найкращий коефіцієнт корисної дії лежить

у межах 67 % із напором 132 м, порівнюючи цей ступінь без підрізки, можемо побачити, що він зарекомендував себе краще.

Що не можна сказати про характеристики першого ступеня, який показав себе найкраще. ККД такого ступеня з підрізкою впав на 8 %, але це все ще залишається прийнятним для даного варіанту. Отримані напірні характеристики вищі порівняно з другим ступенем, та споживання енергії також отримали гарні значення.

**Обговорення.** Для обох ступенів було створено поле характеристики, в межах якого можна регулювати напірність ступеня шляхом підрізки. Перший ступінь показав себе досить гарно на менших подачах на відміну від другого ступеня, що показав себе гірше як з боку напірності так і з боку енергоефективності. Як висновок, можна зробити те, що не всі контрроторні ступені можна підрізати, але не так сильно, як звичайні робочі колеса, так як це дуже сильно впливає на розмір лопатевого диску і виходячи з форми лопатей на напірно-енергетичні характеристики.

Значення характеристик контрроторні ступені були розраховані без відповідного пристрою. Саме у відповідному пристрої втрачається найбільша кількість енергії і його проектування є найскладнішою задачею, так як відповідний пристрій збирає рідину, що вийшла із контрроторного ступеня та направляє її до напірного трубопроводу. Власне, проектування відповідного пристрою є найважливішою частиною в контрроторному ступені. На цей час,

Таблиця 2

Робочі точки широколопатевого контрроторного ступеня без підрізки

|           |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Q, м³/год | 72   | 108  | 144  | 180  | 216  | 252  | 288  | 324  | 360 |
| H, м      | 376  | 375  | 374  | 368  | 360  | 343  | 329  | 321  | 306 |
| N, кВт    | 268  | 289  | 306  | 322  | 338  | 342  | 346  | 357  | 370 |
| ККД, %    | 0,27 | 0,38 | 0,48 | 0,56 | 0,62 | 0,7  | 0,74 | 0,78 | 0,8 |
| Q, м³/год | 396  | 432  | 468  | 504  | 540  | 576  | 612  | 648  |     |
| H, м      | 288  | 256  | 222  | 186  | 149  | 109  | 67   | 23   |     |
| N, кВт    | 374  | 358  | 339  | 312  | 279  | 239  | 189  | 130  |     |
| ККД, %    | 0,83 | 0,84 | 0,83 | 0,82 | 0,78 | 0,71 | 0,59 | 0,31 |     |

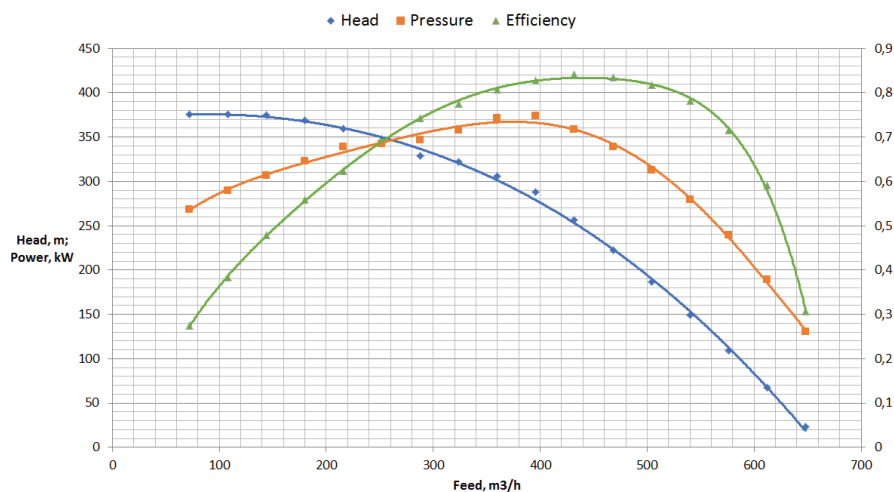


Рис. 7. Характеристика широколопатевого контрроторного ступеня без підрізки

Таблиця 3

Робочі точки вузьколопатевого контрроторного ступеня з підрізкою

|           |      |      |      |      |      |     |     |      |      |     |      |
|-----------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|------|
| Q, м³/год | 126  | 144  | 162  | 180  | 198  | 216 | 234 | 252  | 270  | 288 | 306  |
| H, м      | 316  | 312  | 308  | 297  | 278  | 258 | 236 | 211  | 184  | 156 | 126  |
| N, кВт    | 187  | 199  | 212  | 214  | 214  | 215 | 215 | 213  | 208  | 201 | 191  |
| ККД, %    | 0,54 | 0,58 | 0,63 | 0,67 | 0,69 | 0,7 | 0,7 | 0,68 | 0,65 | 0,6 | 0,54 |

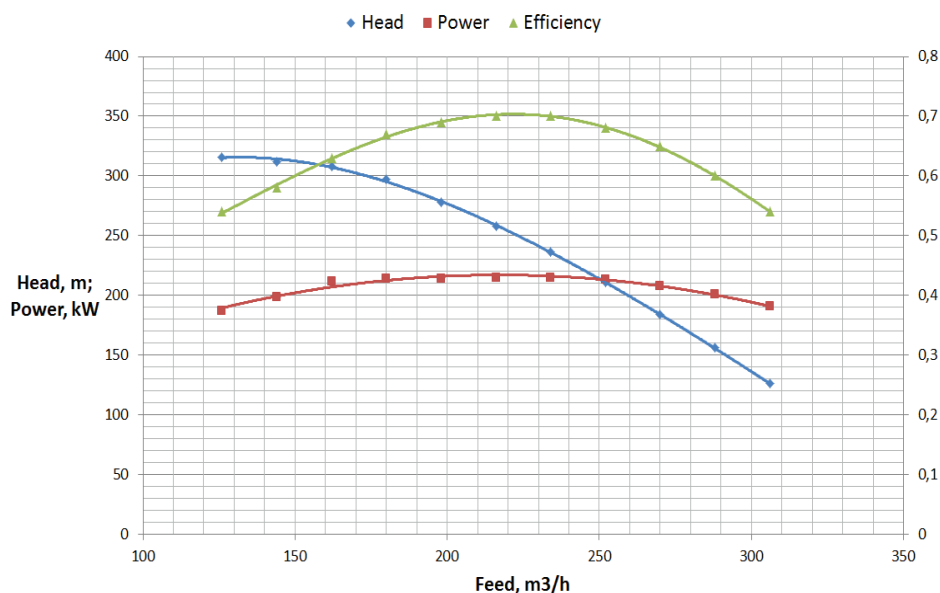


Рис. 8. Характеристика вузьколопатевого контрроторного ступеня з підрізкою

Таблиця 4

Робочі точки широколопатевого контрроторного ступеня з підрізкою

|           |     |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Q, м³/год | 288 | 324  | 360  | 396  | 432  | 468  | 504  |
| H, м      | 179 | 162  | 148  | 132  | 114  | 95   | 74   |
| N, кВт    | 232 | 221  | 218  | 212  | 201  | 186  | 167  |
| ККД, %    | 0,6 | 0,64 | 0,66 | 0,67 | 0,66 | 0,65 | 0,61 |

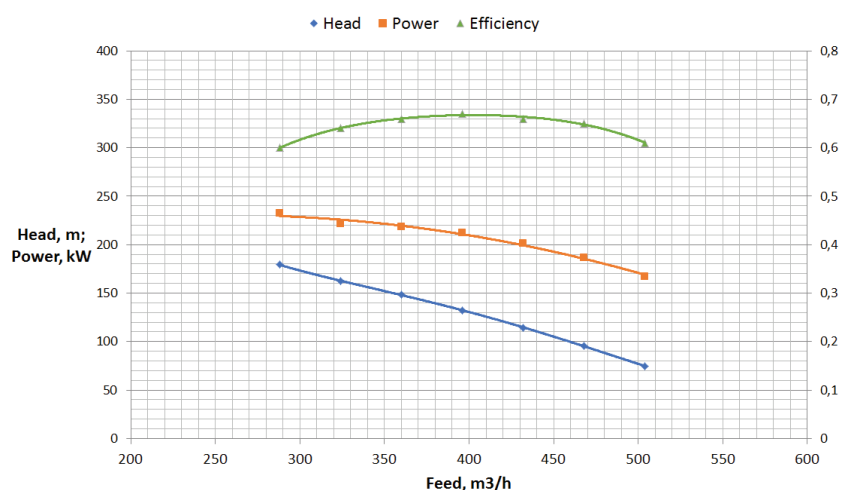


Рис. 9. Характеристика широколопатевого контрроторного ступеня з підрізкою

можна сказати, що було отримано два основні ступеня з лопатевими решітками, які мають гарні напірно-енергетичні характеристики в порівнянні з дослідженнями, що проводилися раніше.

Використання правильно спроектованого відвідного пристрою майже не вплине на напірні характеристики, але через вихроутворення та гідравлічні втрати у відводі та дифузори можна очікувати зниження ККД



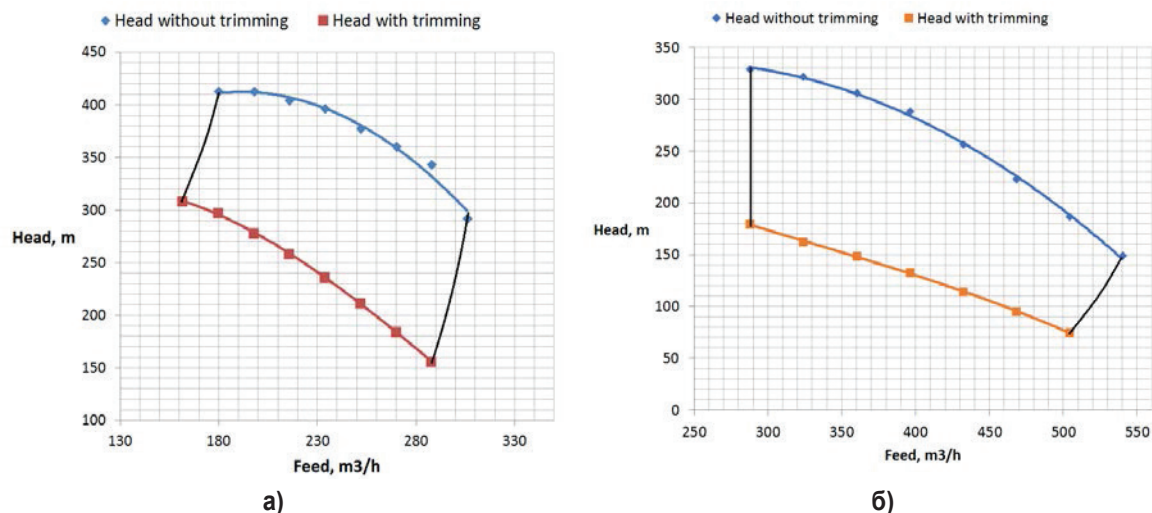


Рис. 10. Поля характеристик контрротаторних ступенів: а) вузьколопатевого; б) широколопатевого

на 8–10 % в порівнянні з базовим ступенями без відводу.

В подальшому на базі спроектованих ступенів буде створений спіральний відвід та проведені повноцінні дослідження контрротаторних ступенів з відводом

й порівняння отриманих характеристик. Це дасть змогу оцінити вплив відводу на характеристики не тільки контрротаторних ступенів, а й звичайних робочих коліс з метою подальшого вдосконалення для збільшення напірно-енергетичних характеристик.

#### Бібліографічні посилання:

1. Kondus, V. & Kotenko, O. (2021). Lopatevi nasosy: navch. posib. [Vane pumps: teacher manual]. SumDU. 293 p. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/83650>
2. Kondus, V., Pavlenko, I., Kulikov, O., & Liaposhchenko, O. (2023). Development of a High-Rotational Submersible Pump for Water Supply. *Water*, 15(20), 3609. <https://doi.org/10.3390/w15203609>
3. Kulikov, O., Ratushnyi, O., Moloshnyi, O., Ivchenko, O., & Pavlenko, I. (2022). Impact of the Closed, Semi-Opened, and Combined Contra-Rotating Stages on Volume Loss Characteristics. *Journal of Engineering Sciences*, 9(1), D6—D13. [https://doi.org/10.21272/jes.2022.9\(1\).d2](https://doi.org/10.21272/jes.2022.9(1).d2)
4. Pavlenko, I., Ciszak, O., Kondus, V., Ratushnyi, O., Ivchenko, O., Kolisnichenko, E., Kulikov, O., & Ivanov, V. (2023). An Increase in the Energy Efficiency of a New Design of Pumps for Nuclear Power Plants. *Energies*, 16(6), 2929. <https://doi.org/10.3390/en16062929>

**Kulikov O. A.**, Postgraduate Student, Sumy State University, Sumy, Ukraine

**Ratushnyi O. V.**, Ph.D., Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

**Ivchenko O. V.**, Ph.D., Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Kozin V. M.**, Ph.D., Associate Professor, Sumy National Agrarian University Sumy, Ukraine

**Fesenko D. I.**, Postgraduate Student, Sumy State University, Sumy, Ukraine

**Zhyhylii D. O.**, Ph.D., Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

#### Characteristic fields of counter-rotating hydroturbine stages

The research investigated two counter-rotating stages with different blade grids of pump impellers. Using the ANSYS CFX software package, the fields of pressure-energy characteristics of stages with and without partial blade trimming were determined. In accordance with modeling practice recommendations for energy characteristics of pump equipment, a 5 % discrepancy between physical and numerical modeling was accepted in this software package.

The study explored two types of stages in terms of structural configuration: the first being a narrow-blade stage, and the second being a wide-blade stage. The first stage of the research involved determining the operating points of the two investigated counter-rotating stages and constructing pressure-energy characteristics. These characteristics comprised variations in head, power, and efficiency coefficient concerning the flow rates of the pump equipment.

The second stage of the research involved determining the pressure-energy characteristics and the operating zones of the counter-rotating stages, where the impeller was trimmed by 15 %. This allowed forecasting the potential decrease in stage head characteristics, obtaining additional characteristics of trimmed stages, and enabling the modeling of the corresponding pump equipment operation across a wider range of stage head characteristics.

Based on the results of this study, operating points were obtained for constructing energy characteristics, allowing for the operation of stages with different geometric characteristics (up to 15 % impeller trimming). A characteristic field was created within which the stage head could be adjusted by trimming.

The first stage performed reasonably well at lower flow rates, unlike the second stage, which exhibited inferior performance both in terms of head and energy efficiency.

*It was established that not all counter-rotating stages can be adjusted through impeller trimming. This is primarily because it significantly affects the pressure-energy characteristics of the respective pump equipment compared to conventional equipment.*

*In this work, the characteristic values of counter-rotating stages were computed without considering the discharge device, which can significantly influence the energy characteristics of the equipment. Therefore, in further research, based on the designed stages, a spiral discharge will be created, and comprehensive studies of counter-rotating stages with discharge will be conducted to compare the obtained energy characteristics of corresponding equipment variants.*

**Key words:** Pump, counter-rotor stage, field of pressure-energy characteristics, impeller, trim, design, numerical modeling.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОЕФІЦІЄНТА НАДІЙНОСТІ АГРОМАШИНИ НА ПРЯМІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ЗАТРАТИ АГРАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА

**Мікуліна Марина Олександрівна**

кандидат економічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-6918-5192

maryna.mikulina@snau.edu.ua

**Саржанов Богдан Олександрович**

PhD, ст. викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-9796-9499

arhimag0@gmail.com

**Поливаний Антон Дмитрович**

студент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-8363-7186

polivanui1@gmail.com

У цій науковій роботі авторами проводиться дослідження впливу коефіцієнта надійності агромашини на прямі експлуатаційні затрати на обробіток одиниці площі поля машинним агрегатом зі складу парку аграрного підприємства. В процесі дослідження розглядаються різні фактори, що впливають на загальну собівартість польових робіт, зокрема увагу зосереджено на таких статтях витрат, як видатки на паливо, оплату роботи водіїв, паливо-мастильні матеріали, амортизація основних засобів, ТО та ремонт. Також особлива увага в роботі приділяється впливу надійності агромашини на продуктивність машинного агрегату, адже цей показник значно впливає на майже усі інші техніко-економічні параметри.

Дослідження підтверджує, що чим надійніша агромашина, тим вища її продуктивність. Це пояснюється тим, що рідше трапляються виходи з ладу та, як наслідок, ремонтні роботи й обслуговування, що забезпечує більший час безперебійної роботи та значно менші прямі експлуатаційні витрати.

Досліджувались 5 машинних агрегатів, у складі кожного з яких знаходиться один і той самий енергетичний засіб – трактор John Deere 7820 та 5 моделей різних шести корпусних сучасних плугів закордонного виробництва.

В результаті досліджень ми прийшли до висновку, що загальний вплив надійності агромашини на експлуатаційні витрати аграрного підприємства важко переоцінити, збільшення вартості обробітку при падінні коефіцієнта надійності агромашини з 0.98 (нова система) до 0.7 (зношена система) в умовах нашого дослідження складає 45.2% – 71.3%. Середнє значення для 5-ти досліджуваних МА склало 63.24%. Найбільш помірне та, навпаки, найбільш стрімке збільшення собівартості обробітку в рамках дослідження спостерігалось у машинних агрегатах з плугами Vari Diamant 9 Lemken та Maschio UNICO L Plough, відповідно. Це пояснюється, перш за все, балансовою вартістю та, як наслідок, ціною ремонту й придбання нових деталей для цих агромашин. З представлених п'яти моделей саме Vari Diamant 9 Lemken та Maschio UNICO L Plough мають найменшу та найбільшу балансову вартість – 14000 та 33270 доларів США, відповідно.

Також було встановлено, що зниження коефіцієнта надійності агромашини на 0.12 одиниць, за інших рівних умов, дасть відмінні фінансові результати відносного збільшення собівартості за різного рівня початкової надійності систем: +27.7% вартості при зниженні коефіцієнта з 0.98 до 0.86, та +22.6% при зниженні з 0.82 до 0.7. Тобто спостерігається більш динамічне зростання вартості агроробіт в результаті падіння коефіцієнта надійності агромашини у системи, що знаходиться в кращому технічному стані.

Як можна зрозуміти з результатів цього дослідження, економічна ефективність аграрного підприємства в значній мірі залежить від надійності роботи його обладнання та засобів виробництва, зокрема, агромашин у складі машинних агрегатів. Низький рівень надійності агромашини, спричинений, наприклад, високим рівнем зносу чи неналежним обслуговуванням, може призвести до аварійної зупинки роботи всього машинного агрегату, що призводить до непередбачених затримок у виконанні аграрних робіт та значних фінансових й, інколи навіть, репутаційних збитків для підприємства.

**Ключові слова:** коефіцієнт надійності, прямі експлуатаційні затрати, машинний агрегат (МА), агромашина (АМ).

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.7>

**Постановка проблеми.** Агромашини, використовувані в аграрному секторі, відіграють важливу роль у забезпеченні ефективності та продуктивності сільськогосподарських підприємств. Проблема впливу надійності цих машин на прямі експлуатаційні затрати стає предметом постійної уваги вчених та практиків. Застосування ненадійних агромашин може призвести до збільшення витрат на обслуговування, ремонт та заміну деталей, що, в свою чергу, негативно впливає на ефективність та економічну прибутковість аграрних підприємств.

На сьогоднішній день, не зважаючи на значну кількість досліджень у сфері агротехнологій, відсутня достатня кількість наукових робіт, що аналізують конкретний вплив надійності агромашин на прямі експлуатаційні затрати аграрного підприємства. Це викликає потребу в проведенні комплексного дослідження, спрямованого на оцінку ступеня впливу надійності агромашин на витрати, пов'язані з обробітком одного гектара поля машинним агрегатом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Автори, такі як Н.І. Болтянська (Boltianska & Boltianskyi, 2014), Р.Б. Кудринський (Kudrynetskyi & Hrytsyshyn, 2015), В.В. Спіцина (Spitsyna & Sirenko, 2017) та інші, досліджуючи у своїх роботах способи оптимізації витрат аграрних підприємств, наголошували на важливості та впливі на собівартість такого показника, як коефіцієнт надійності агромашини. Вони досліджували механізми управління витратами сільськогосподарських підприємств, аналіз шляхів підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку та інші важливі теми.

Ці автори у своїх роботах свідчать про доцільність проведення більш комплексного дослідження впливу надійності агромашин на прямі експлуатаційні витрати агропідприємств, так як цій темі більшість дослідників не приділяють багато уваги, концентруючись на інших, не менш важливих чинниках.

**Мета досліджень.** Дане дослідження має на меті встановлення кореляційних зв'язків між рівнем надійності агромашин та рівнем прямих експлуатаційних затрат. Зокрема, воно включатиме аналіз витрат на паливо, мастила, амортизацію, ремонт, технічне обслуговування і багато інших техніко-економічних показників роботи машинного агрегату, та ступінь їх зміни в залежності від коефіцієнта надійності агромашини.

**Основний матеріал.** Агромашини, зокрема плуги, сіялки та інші сільськогосподарські знаряддя, відіграють ключову роль у безперебійному та економічно ефективному виконанні сільськогосподарських робіт аграрними підприємствами. Висока якість та надійність цих машин мають безпосередній вплив на ефективність та економічні результати господарської діяльності, тоді як ненадійність може призвести до значних збитків через витрати на ремонт, затримки в роботі та зниження продуктивності.

Коефіцієнт надійності агромашини є показником її схильності до відмов у роботі та виходу з ладу. Чим ближче значення цього коефіцієнта до одиниці, тим надійнішим є технічний засіб. Протягом періоду експлуатації коефіцієнт надійності природним чином

зменшується, оскільки засіб піддається впливу фізичного зносу в процесі своєї роботи.

Для забезпечення ефективного та безперебійного функціонування агромашин важливо проводити регулярне технічне обслуговування та періодичні ремонти. Виявлення потенційних проблем та їхчасне усунення дозволяють підтримувати надійність агромашин, результатом чого стає високий рівень економічної ефективності та оптимізація експлуатаційних витрат підприємства, пов'язаних з виконанням польових робіт (Mikulina & Polyvaniy, 2023; Mikulina et al., 2023).

Однією з основних причин зниження надійності агромашин є знос деталей, вузлів та поверхонь робочих органів. Під впливом механічних та термічних навантажень вони піддаються абразивному зносу, втрачаючи свою первісну форму та функціональні характеристики. Крім того, погіршення поверхонь призводить до збільшення тертя та зниження робочої ефективності систем. Накопичення пошкоджень та втрата працездатності систем також сприяють зменшенню надійності агромашини.

Для оцінки технічного стану агромашини можна використовувати коефіцієнт надійності, який, в свою чергу, вже впливає на майже всі техніко-економічні показники машинного агрегату. Для розрахунку цього показника необхідно знати, скільки часу агромашина працює без будь-яких відмов та перебоїв, а також загальний час її роботи. Формула для розрахунку цього коефіцієнта включає в себе ці дві величини та виглядає так (Barkley, 2016):

$$k = \frac{t_{\text{безпер}}}{t_{\text{заг}}} \quad (1)$$

де,  $t_{\text{безпер}}$  – безперебійний час роботи енергетичного засобу, год;

$t_{\text{заг}}$  – загальний час роботи енергетичного засобу, год.

Чим вище коефіцієнт надійності, тим менше вірогідність виходу механізму з ладу або збою у його роботі, що, в свою чергу, сприяє збільшенню продуктивності та зниженню витрат на ремонт і обслуговування.

Для визначення впливу цього показника на прямі експлуатаційні витрати підприємства на обробіток гектару поля, особливу увагу під час дослідження слід приділити основним техніко-економічним параметрам машинного агрегату, у складі якого працює обрана агромашина, формули (2-7):

Витатки на пальне, грн/га:

$$C_n = \frac{P_{\text{вп}} * V_d}{\Pi} \quad (2)$$

де,  $V_d$  – ціла ДП, використовуємо значення 48 грн/л;

$P_{\text{вп}}$  – питома витрата палива енергозасобом у складі МА, гр\*кВт/год;

$\Pi$  – фактична продуктивність МА під час польових робіт, га/год.

Надійна агромашина здатна функціонувати без значних збоїв та поломок, що знижує час, витрачений на ремонтні роботи. Відповідно, чим менше простоює агромашина, тим більше часу вона може проводити в полі, забезпечуючи безперебійну роботу машинного агрегату, а отже, і високий рівень продуктивності польових робіт.



Продуктивність, в свою чергу – це показник, що значно впливає майже на всі техніко-економічні параметри МА, в тому числі й на витрати підприємства на паливо. Високий рівень продуктивності польових робіт забезпечує більш динамічне та економічно ефективне функціонування аграрного підприємства.

Надійність агромашини, крім опосередкованого, також має і прямий вплив на витрати палива. При високому рівні зносу поверхонь робочих органів, вузлів та деталей конструкції агромашини відбувається падіння паливо-економічної ефективності всього машинного агрегату через підвищення рівня вібрацій та перевитрату палива енергетичним засобом.

Незаплановані зупинки через поломки також можуть вимагати транспортування машини до сервісного центру або пошуку запасних частин на складах підприємства, що призводить до додаткових витрат палива та робочого часу працівників, не кажучи вже про прямі збитки на ремонт та запчастини (Mikulina et al., 2023; Mikulina & Polyvani, 2022).

Видатки на оплату праці водіїв, грн/га:

$$C_B = \frac{V_{np} * 1.12}{\Pi} \quad (3)$$

де,  $V_{np}$  – фіксована ставка заробітної плати тракториста-машиніста п'ятого розряду, використовуємо значення 539,78 грн/год.

Видатки на паливо-мастильні матеріали, грн/га:

$$C_{ПММ} = \frac{0.04 * ВП * V_{ПММ}}{\Pi} \quad (4)$$

де,  $V_{ПММ}$  – усереднена ціна ПММ, використовуємо 280 грн/кг;

ВП – витрата палива енергозасобом у складі МА, кг/га.

Видатки, пов'язані з амортизацією енергозасобу та агромашини у складі МА, грн/га:

$$A = \frac{V_{ez} * V_a * 0.15}{t_{ez} * \Pi} + \frac{V_a * V_a * 0.15}{t_a * \Pi} \quad (5)$$

де,  $V_{ez}$  – вартість енергозасобу у складі МА на балансі підприємства, \$ США;

$V_a$  – обмінний курс іноземної валюти (долари Сполучених Штатів), використовуємо значення 38 грн за \$1;

$t_{ez}$  – нормативний річний виробіток енергозасобу, год;

$V_a$  – вартість агромашини у складі МА на балансі підприємства, \$ США;

$t_a$  – нормативний річний виробіток агромашини, год.

Видатки на роботи з техобслуговування та ремонтні роботи, грн/га:

$$C_{TO} = \frac{V_{ez} * V_a * (1 - k_{ez})}{t_{ez} * \Pi} + \frac{V_a * V_a * (1 - k_a)}{t_a * \Pi} \quad (6)$$

де,  $k_{ez}$  – коефіцієнт надійності енергозасобу у складі МА, од;

$k_a$  – коефіцієнт надійності агромашини у складі МА, од.

Найбільший прямий внесок у зміну експлуатаційних витрат на обробіток поля при зміні коефіцієнта надійності агромашини вносить показник видатків на роботи з техобслуговування та ремонтні роботи (Léon, 2005).

Собівартість (прямі експлуатаційні затрати) проведення польових робіт машинним агрегатом, грн/га:

$$Q = C_n + C_{ПММ} + C_g + A + C_{TO} \quad (7)$$

Проаналізувавши дані залежності, можемо дійти висновку, що коефіцієнт надійності агромашини чинить комплексний вплив майже на усі техніко-економічні параметри роботи машинного агрегату, але найбільш значуще він позначається на затратах на роботи з техобслуговування та ремонтні роботи, напряду впливаючи на даний показник. У цьому дослідженні, крім наведених показників, відслідковуються та використовуються у модулюванні графічних моделей більше 50 додаткових змінних параметрів енергетичного засобу, агромашини та машинного агрегату.

В дослідженні використовуються 5 машинних агрегатів. Для зменшення кількості змінних параметрів, дослідження яких не є метою даної роботи, було прийняте рішення експлуатувати один і той самий енергетичний засіб – сучасний трактор марки John Deere 7820. З врахуванням його технічних параметрів були обрані 5 сучасних 6-корпусних плугів закордонного виробництва, технічні параметри яких наведені в таблиці 1. Отримуємо наступний склад п'яти МА:

МА 1 – трактор John Deere 7820 з плугом Vari Diamant 9 Lemken;

МА 2 – трактор John Deere 7820 з плугом Maschio UNICO L Plough;

МА 3 – трактор John Deere 7820 з плугом Diamant 16 Lemken;

МА 4 – трактор John Deere 7820 з плугом Europol 9 Lemken;

МА 5 – трактор John Deere 7820 з плугом Juwel 8 Lemken.

Технічні характеристики трактора John Deere 7820 наступні:

Тип – колісний трактор 4K4;

Макс. тягове зусилля, кН – 35;

Потужність двигуна, кВт – 136;

Питома витрата палива, гр\*кВт/год – 200;

Експлуатаційна маса, т – 8.77;

Балансова вартість, \$ – 170000;

Виробіток трактору, га/год – 1.65;

Коефіцієнт надійності, од – 0.99 (новий ЕЗ).

Під час проведення аналізу та створення графічних моделей, окрім вже згаданих параметрів, були використані наступні додаткові вхідні дані:

Глибина ґрунтообробки, см – 12;

Довжина гонів, м – 900;

Спосіб руху (1-2) – 1 (взгін / врозгін);

Кут руху до попереднього ряду, град – 90;

Агрофон (1-9) – 3 (стерня);

Твердість ґрунту – важкий (53...59 кПа);

Градація умов роботи (1-9) – 3 (середні);

Нахил рельєфу, % – 3.

В результаті проведених експериментів з використанням наведених даних була отримана графічна модель, що відображає вплив коефіцієнта надійності агромашини на прямі експлуатаційні витрати на обробку одного

Основні технічні параметри обраних агромашин

| Марка                  | Тип     | Макс. ширина захвату, м | Макс. робоча швидкість, км/год | Експлуатаційна маса, т | Балансова вартість, \$ | Кінематична довжина, м | Нормальне річне завантаження, год | Коеф. забезпечення агровиног |
|------------------------|---------|-------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Vari Diamant 9 Lemken  | тяговий | 2,0                     | 10                             | 1,9                    | 14000                  | 5                      | 240                               | 0,98                         |
| Maschio UNICO L Plough | тяговий | 2,1                     | 12                             | 2,41                   | 33269,74               | 5,8                    | 250                               | 0,97                         |
| Diamant 16 Lemken      | тяговий | 2,1                     | 12                             | 2,94                   | 30184,36               | 6                      | 240                               | 0,96                         |
| Europal 9 Lemken       | тяговий | 2,1                     | 12                             | 1,71                   | 27193                  | 6                      | 240                               | 0,98                         |
| Juwel 8 Lemken         | тяговий | 2,4                     | 12                             | 1,76                   | 29223                  | 5,9                    | 240                               | 0,97                         |

гектара поля кожним з 5 зазначених МА. Відповідний графік впливу зображено на рис. 1.

Також було створено індивідуальну гістограму для машинного агрегату у складі John Deere 7820 + Diamant 16 Lemken з метою оцінки прогресії темпів зростання

собівартості виконання агробіт на кожному з умовних етапів зниження коефіцієнта надійності агромашини в його складі (рис. 2).

Рисунок 1 демонструє нелінійну залежність між витратами підприємства на обробіток одного гектара

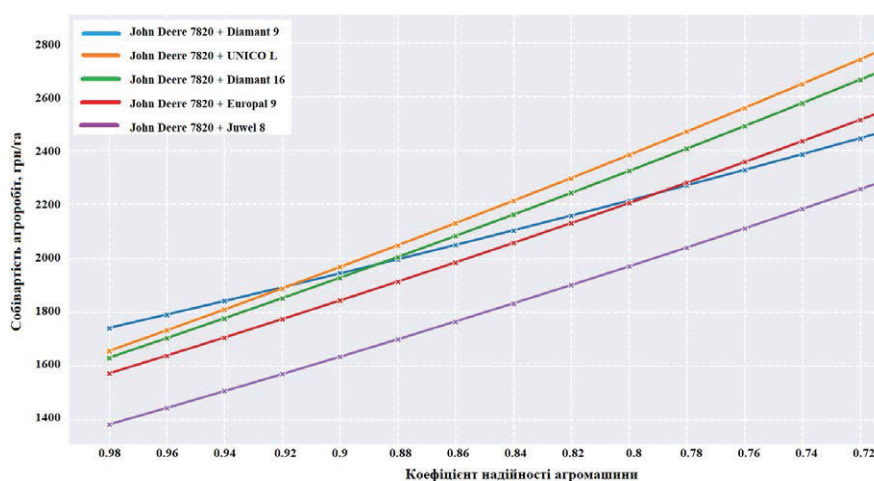


Рис. 1. Вплив коефіцієнта надійності агромашини на собівартість виконання польових робіт машинним агрегатом

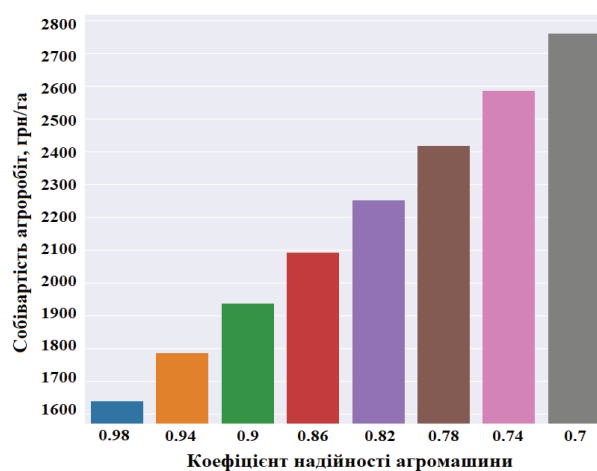


Рис. 2. Витрати на обробіток 1 гектара поля МА у складі John Deere 7820 + Diamant 16 Lemken за різного коефіцієнта надійності агромашини

поля певним машинним агрегатом та коефіцієнтом надійності агромашини в його складі. МА 2, за умови лінійного збільшення вартості агроробіт, при коефіцієнті надійності свого плуга Maschio UNICO L Plough, рівному 0.7 од., мав би витрати не 2825 грн на гектар, а приблизно 2765 грн на гектар, що на 2.13% менше за фактичну собівартість.

Ступінь впливу поступового зношення агромашини, від стану нової, з коефіцієнтом надійності 0.98, до стану дуже ненадійної, з коефіцієнтом 0.7, на фінансові витрати підприємства для обробітку гектара поля наступний:

МА 1: зростання з 1726 до 2506 грн/га, підвищення на 45.2%;

МА 2: зростання з 1664 до 2825 грн/га, підвищення на 71.3%;

МА 3: зростання з 1638 до 2753 грн/га, підвищення на 68.1%;

МА 4: зростання з 1580 до 2594 грн/га, підвищення на 64.2%;

МА 5: зростання з 1390 до 2327 грн/га, підвищення на 67.4%.

Аналізуючи отримані результати, можемо зробити висновок – загальний вплив даного показника на експлуатаційні витрати аграрного підприємства важко переоцінити, збільшення вартості обробітку в умовах нашого дослідження складає 45.2–71.3%. Середнє значення для п'яти досліджуваних МА склало 63.24%. Найбільш помірне та, навпаки, найбільш стрімке збільшення собівартості обробітку в рамках дослідження спостерігалось у машинних агрегатів з плугами Vari Diamant 9 Lemken та Maschio UNICO L Plough, відповідно. Це пояснюється, перш за все, балансовою вартістю та, як наслідок, ціною ремонту й придбання нових деталей для цих агромашин. З представлених п'яти моделей саме Vari Diamant 9 Lemken та Maschio UNICO L Plough мають найменшу та найбільшу балансову вартість – 14000 та 33270 доларів США, відповідно.

Аналізуючи гістограму на рис. 2, можемо детально дослідити прогресію темпів зростання собівартості виконання агроробіт для машинного агрегату John Deere 7820 + Diamant 16 Lemken на кожному з умовних етапів зниження коефіцієнта надійності агромашини в його складі:

| Коефіцієнт надійності | Зміна собівартості | Собівартість обробітку 1 га |
|-----------------------|--------------------|-----------------------------|
| 0.98                  |                    | 1638 грн/га;                |
| ↓                     | +9.0%              | ↓                           |
| 0.94                  | +8.5%              | 1785 грн/га;                |
| ↓                     |                    | ↓                           |
| 0.90                  | +8.0%              | 1937 грн/га;                |
| ↓                     | +7.6%              | ↓                           |
| 0.86                  |                    | 2092 грн/га;                |

|      |       |              |
|------|-------|--------------|
| ↓    | +7.3% | ↓            |
| 0.82 | +7.0% | 2252 грн/га; |
| ↓    |       | ↓            |
| 0.78 | +6.8% | 2417 грн/га; |
| ↓    |       | ↓            |
| 0.74 |       | 2586 грн/га; |
| ↓    |       | ↓            |
| 0.70 |       | 2761 грн/га. |

Проаналізувавши отримані дані, приходимо до висновку, що швидкість зростання вартості агроробіт в результаті падіння коефіцієнта надійності агромашини більша у системи, що знаходиться в кращому технічному стані. З фінансової точки зору це означає, що втрата однакової величини коефіцієнта надійності агромашинами в кращому та гіршому технічному стані призведе до більшого відносного зростання вартості обробітку землі машинним агрегатом саме з більш надійною агромашиною. Зниження коефіцієнта надійності агромашини на 0.12 одиниць, за інших рівних умов, дасть відмінні фінансові результати відносного збільшення собівартості за різного рівня початкової надійності систем: +27.7% вартості при зниженні коефіцієнта з 0.98 до 0.86, та +22.6% при зниженні з 0.82 до 0.7.

Сільське господарство в сучасному світі стикається з безпрецедентними викликами, пов'язаними з необхідністю забезпечення сталого зростання та ефективної виробничої діяльності в кризові часи. Одним із ключових факторів успіху в аграрному секторі є надійність та продуктивність агромашин, які використовуються на аграрних підприємствах.

Перший аспект, який варто враховувати, полягає в придбанні якісного обладнання, що повністю задовольняє потреби підприємства. Вибір відповідних агромашин є критично важливим кроком у досягненні ефективної діяльності. Якість та функціональність обладнання визначають його надійність, тривалу працездатність та продуктивність.

Другий важливий аспект економічної ефективності полягає в своєчасному технічному обслуговуванні та проведенні ремонтних робіт агромашин та іншого обладнання в парку підприємства. Ретельний контроль стану техніки та вчасне виявлення можливих дефектів дозволяють запобігти серйозним поломкам та забезпечують безперебійну роботу обладнання. Регулярне обслуговування, а також оперативний ремонт у разі потреби, допомагають зберегти тривалу працездатність агромашини та підвищують її надійність.

Результати впровадження цих двох підходів позитивно впливають на економічну та виробничу ефективність аграрного підприємства. Надійна та продуктивна агромашина забезпечує не тільки зниження ризику втрати часу та ресурсів через поломки, але й дозволяє

оптимізувати витрати та забезпечити стаке зростання підприємства в аграрному секторі. Розумне управління технічними аспектами сільськогосподарської діяльності стає ключовим фактором у досягненні ефективності та конкурентоспроможності сучасних аграрних підприємств.

**Висновок.** У даній роботі авторами було проведено комплексне дослідження впливу коефіцієнта надійності агромашини на прямі експлуатаційні витрати аграрного підприємства на обробіток одного гектара поля.

Досліджувались 5 машинних агрегатів, у складі кожного з яких знаходиться один і той самий енергетичний засіб – трактор John Deere 7820 та 5 моделей різних шести корпусних сучасних плугів закордонного виробництва.

В результаті досліджень ми дійшли висновку, що загальний вплив надійності агромашини на експлуатаційні витрати аграрного підприємства є значним. Збільшення вартості обробітку при падінні коефіцієнта надійності агромашини з 0.98 (нова система) до 0.7 (зношена система) в умовах нашого дослідження складає 45.2–71.3%. Середнє значення для п'яти досліджуваних МА склало 63.24%. Найбільш помірна, навпаки, найбільш стрімке збільшення собівартості обробітку в рамках дослідження спостерігалось у машинних агрегатів з плугами Vari Diamant 9 Lemken та Maschio UNICO L Plough, відповідно. Це пояснюється, перш за все, балансовою вартістю та, як наслідок, ціною ремонту й придбання нових деталей для цих агромашин. З представлених п'яти моделей саме Vari Diamant 9 Lemken та Maschio UNICO L Plough мають найменшу та найбільшу балансову вартість – 14000 та 33270 доларів США відповідно.

Також було встановлено, що зниження коефіцієнта надійності агромашини на 0.12 одиниць, за інших рівних умов, дасть відмінні фінансові результати відносно збільшення собівартості за різного рівня початкової надійності систем: +27.7% вартості при зниженні коефіцієнта з 0.98 до 0.86, та +22.6% при зниженні з 0.82 до 0.7. Тобто спостерігається більш динамічне зростання вартості агробіт в результаті падіння коефіцієнта надійності агромашини у системи, що знаходиться в кращому технічному стані.

Як можна зрозуміти з результатів цього дослідження, економічна ефективність аграрного підприємства в значній мірі залежить від надійності роботи його обладнання та засобів виробництва, зокрема, агромашин у складі машинних агрегатів. Низький рівень надійності агромашини, спричинений, наприклад, високим рівнем зносу чи неналежним обслуговуванням, може призвести до аварійної зупинки роботи всього машинного агрегату, що призводить до непередбачених затримок у виконанні аграрних робіт та значних фінансових й, інколи навіть, репутаційних збитків для підприємства.

Отже, вибір надійних агромашин та їх своєчасне технічне обслуговування є критично важливими аспектами досягнення ефективності та економічності сільськогосподарського підприємства. Систематичне проведення планових технічних обстежень обладнання, регулярний контроль та підтримка належного технічного стану агромашин допоможуть запобігти їх передчасним та неочікуваним виходам з ладу. Правильне змащення, належне налаштування та вчасне виявлення дефектів сприятимуть продовженню терміну безперебійної роботи агромашин, що, як показало дане дослідження, виключно позитивно позначиться на фінансовому стані аграрного підприємства.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Barabash G., Mikulina M. (2019). Zalezhnist tekhniko-ekonomichnykh okaznykiv vykorystannia zernozbyralnykh kombiniv vid rivnia vrozhaivosti ozymoї pshenytsi. [Dependence of the technical and economic characteristics of the use of grain harvesters on the yield level of winter wheat zbirnyk tez dopovidei po materialakh Mizhnarodnoi naukovoї inter-net-konferentsii, (Pereiaslav-Khmelnitskyi, 31 sichnia 2019 r.). - Pereiaslav-Khmelnitskyi, 2019. - Vyp. 43. - S. 747-750. (in Ukrainian)
2. Barkley, A., & Barkley, P. W. (2016). Principles of agricultural economics. Routledge. Pp. 44-47. <https://doi.org/10.4324/9781315691008>
3. Boltianska, N. I., & Boltianskyi, O. V. (2014). Analiz shliakhiv pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia mashynno-traktornoho parku. [Analysis of ways of reporting the effectiveness of the use of the machine-tractor park], Pratsi Tavriiskoho erzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu. Tekhnichni nauky, (14, t. 3), 204-209. (in Ukrainian)
4. Kudrynetskyi, R. B., & Hrytsyshyn, M. I. (2015). Obgruntuvannia efektyvnykh tekhnolohichnykh kompleksiv mashyn dlia vyrobnytstva produktsii roslynyntstva v silskohospodarskykh pidpriemstvakh. [Justification of effective technological complexes of machines for the production of crop production in agricultural enterprises], Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva, (1), 250-258. (in Ukrainian)
5. Léon, Y. (2005). Rural development in Europe: a research frontier for agricultural economists. European Review of Agricultural Economics, 32(3), 301-317. <https://doi.org/10.1093/eurrag/jbi012>
6. Mikulina M., Polyvanyi A. (2020). Stan vykorystannia sputnykovykh danykh v silskomu hospodarstvi. [State of use of satellite data in agriculture]. Tekhnichne zabezpechennia innovatsiinykh tekhnolohii v ahropromyslovomu kompleksi: materialy I Mizhnar. nauk.-prakt. konf. Melitopol: TDATU (pp. 33-34). (in Ukrainian).
7. Mikulina M., Polyvanyi A. (2022) Economic security of the development of agrarian formations [Electronic resource]. Sustainable Development in Wartime Ukraine and the World : multidisciplinary conference for young researchers, (November 25, 2022). – Prague, 2022. – R. 22-24. <https://doi.org/10.25140/978-80-213-3242-3-2022>
8. Mikulina M., Polyvanyi A. (2023). Metodichni pidkhody stosovno vyvchennia vplyvu typu khodovoi systemy traktoriv na tekhniko-ekonomichni pokaznyky. [Methodical approaches regarding the influence of the type of tractor running system on technical and economic indicators]. Science and innovation of modern world : proceedings of the 5th International



scientific and practical conference. – London : Cognum Publishing House, 2023. – P. 185-191.

9. Mikulina M., Polyvanyi A. (2023). Systema tochnoho zemlerobstva (STZ) yak instrument dlia vyznachennia reliefu polia. [System of precision agriculture (STZ) as a tool for determining the topography of the field]. Ahrosvit. – 2023. – № 14. – S. 70-74.

10. Mikulina M., Polyvanyi A. (2023). Vplyv ratsionalnoi komponovky MTA na produktyvnist ta yakist obrobitku hruntu. [The influence of the rational layout of the MTA on the productivity and quality of soil cultivation]. The 1st International scientific and practical conference «Global science : prospects and innovations», (September 7-9, 2023). – Liverpool : Cognum Publishing House, 2023. – Pp. 8-15.

11. Mikulina M., Polyvanyi A., Bondarenko V. (2023) Tekhniko-ekonomichna otsinka vykorystannia system i tekhnolohii v roslinnytstvi. [Technical and economic assessment of the use of systems and technologies in horticulture]. Science and technology: problems, prospects and innovations. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan. 2023. Pp. 18-22. (in Ukrainian)

12. Mikulina, M. A., Polyvanyi, A. D., Kliesch, O. V., Tymchenko, V. O., & Klymenko, D. V. (2023). Suchasni tendentsii spivpratsi mizh ukrainskoiu amerykanskoju transportnymy systemamy. [Modern trends of cooperation between Ukrainian and American transport systems]. In The 7th International scientific and practical conference "PROGRESSIVE RESEARCH IN THE MODERN WORLD" (March 29-31, 2023) CPN Publishing Group, Boston, USA (pp. 186-190).

13. Mikulina, M. O., & Polyvanyi, A. D. (2023). Metodychni pidkhody stosovno vyvchennia vplyvu typu khodovoi systemy traktoriv na tekhniko-ekonomichni pokaznyky. [Methodical approaches regarding the influence of the type of tractor running system on technical and economic indicators]. In The 5th International scientific and practical conference "Science and innovation of modern world" (January 25-27, 2023) Cognum Publishing House, London, United Kingdom. 2023. 672 p. (p. 185). (in Ukrainian)

14. Spitsyna, V. V., & Sirenko, N. M. (2017). Mekhanizmy upravlinnia vytratamy silskohospodarskykh pidpriemstv v umovakh ekonomichnoi nevyznachenosti. [Mechanism of management of vitratami of agricultural enterprises in conditions of economic uncertainty], Molodyi vchenyi, (1), 705-709. (in Ukrainian)

**Mikulina M. O.**, PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Sarzhanov B. O.**, PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Polyvanyi A. D.**, master's degree, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Study of the influence of the reliability coefficient of agricultural machinery on the direct operating costs of an agricultural enterprise**

*In this scientific work authors conduct a study of the influence of the reliability coefficient of agricultural machinery on the direct operating costs for processing a unit of field area with a machine unit from the fleet of an agricultural enterprise. In the process of research, various factors affecting the total cost of field work are considered, in particular, attention is focused on such expenditure items as fuel expenses, drivers' wages, fuel and lubricants, depreciation of fixed assets, maintenance and repairs. Also, special attention is paid in the work to the influence of the reliability of the agricultural machine on the productivity of the machine unit, because this indicator significantly affects almost all other technical and economic parameters.*

*The study confirms that the more reliable the agricultural machine, the higher its productivity. This is because there are fewer breakdowns and, as a result, less repairs and maintenance, resulting in longer uptime and significantly lower direct operating costs.*

*Five machine units were studied, each of which contains the same power tool – a John Deere 7820 tractor and 5 models of different six-body modern plows of foreign production.*

*As a result of research, we came to the conclusion that the overall impact of the reliability of agricultural machinery on the operating costs of an agricultural enterprise is difficult to overestimate, the increase in the cost of cultivation when the coefficient of reliability of agricultural machinery falls from 0.98 (new system) to 0.7 (worn system) in the conditions of our study is 45.2–71.3%. The average value for the 5 studied MUs was 63.24%. The most moderate and, on the contrary, the most rapid increase in the cost of processing within the framework of the study was observed in machine units with plows Vari Diamant 9 Lemken and Maschio UNICO L Plow, respectively. This is explained, first of all, by the book value and, as a result, the price of repair and purchase of new parts for these agricultural machines. Of the five models presented, it is the Vari Diamant 9 Lemken and the Maschio UNICO L Plow that have the lowest and highest book values at \$14,000 and \$33,270, respectively.*

*It was also established that a decrease in the reliability coefficient of agricultural machinery by 0.12 units, other things being equal, will give excellent financial results relative to the increase in cost at different levels of initial system reliability: +27.7% of the cost when the coefficient is reduced from 0.98 to 0.86, and +22.6% when from 0.82 to 0.7. That is, there is a more dynamic increase in the cost of agricultural work as a result of a drop in the reliability coefficient of agricultural machinery in a system that is in better technical condition.*

*As can be understood from the results of this study, the economic efficiency of an agricultural enterprise depends to a large extent on the reliability of its equipment and means of production, in particular, agricultural machines as part of machine units. A low level of reliability of an agricultural machine, caused, for example, by a high level of wear or improper maintenance, can lead to an emergency shutdown of the entire machine unit, which leads to unforeseen delays in the performance of agricultural work and significant financial and, sometimes even, reputational losses for the enterprise.*

**Key words:** reliability coefficient, direct operating costs, machine unit (MU), agricultural machine (AM).

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Панкова Оксана Володимирівна**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна  
ORCID: 0000-0003-2866-1858  
pankova\_oksana@ukr.net

**Сировицький Кирило Геннадійович**

старший викладач  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-0250-8994  
gaver89@ukr.net

**Харченко Сергій Олександрович**

доктор технічних наук, професор  
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна  
ORCID: 0000-0002-4883-2565  
kharchenko\_mtf@ukr.net

**Оничко Віктор Іванович**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-0584-319X  
onichko@gmail.com

**Тарельник В'ячеслав Борисович**

доктор технічних наук, професор  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-2005-5861  
viacheclav.tarelnyk@snau.edu.ua

**Думанчук Михайло Юрійович**

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-3559-4729  
mykhailo.dumanchuk@snau.edu.ua

У статті приведено результати аналізу отриманих даних в лабораторних умовах впливу електромагнітного випромінювання червоного та синього діапазонів, а також їх одночасного впливу, з різним часом експозиції. Для проведення досліджень було взято один з найпоширеніших сортів озимої пшениці у Східному регіоні. Контрольною «групою» було насіння, яке не піддавалось жодній обробці. Отримані дані, а саме енергія проростання, лабораторна схожість і довжина корінців та проростків, дозволили зробити висновок, що найвагоміший вплив на енергію проростання та лабораторну схожість мав варіант сумісної дії і червоного і синього діапазонів впродовж 30 хвилин. Саме такий підхід до опромінення насіння в лабораторії показав властивості до збільшення біопотенціалу насіннєвого матеріалу. Таким чином, саме активація групи різних фоторецепторів, і фітохромів і криптохрому, є найефективнішим. Обробка впродовж 10 хвилин майже не мала впливу во всіх варіантах довжини хвилі. Це може бути пов'язано з тим що вплив ЕМВ має пролонговану дію і може проявитися пізніше. Енергія проростання та схожість же вивчається на початкову (перший тиждень) етапі росту.

Виявлений ефект для озимої пшениці пояснюється, по-перше, розміром насіння, по-друге виявлений факт можливо пояснити особливостями біохімічних процесів, зокрема їх швидкості, що потребує подальшого вивчення.

В цілому, підвищення лабораторної схожості на енергії проростання насіння складало від 1 до 9%, що є незначним в лабораторних умовах, але може мати вагомий ефект в умовах польових досліджень, з урахуванням погодних умов та інших факторів вирощування. Не виявлено закономірності змін в показниках довжини корінців та проростків во всіх варіантах досліду, що може говорити про нечутливість даного показника до обробки ЕМВ.

**Ключові слова:** озима пшениця, електромагнітне випромінювання, довжина хвилі, фітохром, сільськогосподарські культури, біопотенціал, врожайність.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.8>

**Вступ.** Світло відіграє важливу роль у житті всіх представників рослин. Рослини проходять дві різні програми розвитку: фотоморфогенез за наявності світла та скотоморфогенез за його відсутності. Вони використовують світлові сигнали для визначення часу ключових переходів у розвитку, таких як початок розмноження (перехід до цвітіння), проростання, тощо. Рослини оснащені системою фоторецепторів, що дозволяє їм сприймати дуже широкий спектр світла, що охоплює від УФ-В до дальнього червоного (280-750 нм) (Galvão, 2015). У рослин було виявлено багато типів фоторецепторів: фітохром (phy), криптохром (cry) і фототропін (phot) відомі як основні рецептори червоного/дальнього червоного та синього світла відповідно (Kong, 2016).

Великий діапазон фізіологічних процесів від проростання насіння та деетіоляції проростків до цвітіння і плодоношення контролюється системою фітохрому (Quail, 2020; Kong, 2016). Фітохром – це гомо- або гетеродимерні білки, що складаються з N-кінцевої фотосенсорної області, яка ковалентно зв'язує хромофор фітохромобіліну тетрапіролу, і C-кінцевої вихідної області, яка бере участь у димеризації та, імовірно, сприяє передачі світлового сигналу (Burgie E.S., 2014). Фітохром синтезуються як біологічно неактивна (Pr) форма, яка перетворюється на активну (Pfr) форму після поглинання червоного світла. Pfr швидко перетворюється назад в неактивний основний стан Pr після опромінення дальнім червоним світлом або повільно шляхом термічної реверсії. Останні кристалічні структури бактеріальних і рослинних фітохромних фотосенсорних модулів дають довгоочікуване розуміння індукованих світлом конформаційних змін, ініційованих ізомеризацією хромофорів (Burgie E.S., 2014; Burgie E.S., Bussell A.N., 2014). Дальнє червоне (730 нм) та червоне світло (660 нм) має великий вплив на швидкість росту, тобто впливає на довжину стебла, висоту рослини (Devesh Singh, 2015; Yoshida, 2016). Фітохром постійно контролює численні фізичні параметри світлових сигналів (включаючи наявність/відсутність, колір (довжину хвилі), інтенсивність (швидкість потоку) і добову тривалість (фотоперіодичність)) і передає цю інформацію за допомогою внутрішньоклітинних сигнальних шляхів, які викликають молекулярні та клітинні реакції, специфічні для організму та стану розвитку (Quail, 2010).

Криптохром – це УФ-А/синій фоторецептор. Фотоактивація синім світлом (460 нм) ініціює реакцію перенесення електронів із залученням залишків триптофану та/або клітинних метаболітів, що запускає відновлення хромофора до «сигнального стану» (Conrad, 2014; Engelhard, 2014). Синє світло бере участь у багатьох процесах рослини, таких як відкриття продихів, фототропізм, фотосинтетичній функції та фотоморфогенезі (Sander, 2010). Ще одними рецепторами синього світла, присутніми у всіх рослинах, є фототропіни. На відміну від інших фоторецепторів, які діють переважно в ядрі, фототропіни спрямовані на плазматичну мембрану. Функціональне значення індукованої світлом перелокалізації цих фоторецепторів залишається недостатньо вивченим (Galvão, 2015).

У насінні ембріон знаходиться в дуже захищеному середовищі, тоді як молоді проростки дуже вразливі. Таким чином, проростання знаходиться під суворим контролем навколишнього середовища, включаючи вплив води, кисню, температури та світла. Насіння стає здатним реагувати на ці сигнали навколишнього середовища лише після того, як порушується стан спокою. Серед усіх фоторецепторів фітохром відіграють найважливішу роль у сприянні проростання за сприятливих умов освітлення та запобіганні проростання коли умови освітлення неоптимальні. Щоб сприяти проростання, фітохром в першу чергу впливають на синтез гібереліну (Chitose Kami, 2010). Екологічне значення даних процесів, пов'язане з реакцією на світло фоторецепторів, полягає в тому, що світло служить індикатором глибини ґрунту, «дозволяючи» більшу схожість насіння що знаходиться у верхніх шарах ґрунту, ніж насіння, закопане глибоко в ґрунт (Lamsal, 2019).

Пшениця є широко вирощуваною культурою в усьому світі через її високу харчову цінність (Oyewole, 2016). Попит на пшеницю більший порівняно з іншими культурами. Фундаментальним дослідженням впливу якості освітлення на ріст і морфологію пшениці присвячено не мало робіт, які доводять вплив зокрема червоного та синього світла на фізіолого-біохімічні процеси рослин (Iqbal, 2020; Cecchetti, 2022). Але в області прикладних досліджень щодо використання агротехнологій на основі використання різних спектрів світла в рослинництві на сьогодні не достатньо. Попередні дослідження показали вплив ефектів фоторецепторів на метаболізм (Lysyshenko, 2016; Pankova, 2010; Pankova, 2021). Метою досліджень було вивчити ефекти дії червоного та синього світла з різними режимами опромінення на ростові процеси пшениці озимої.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження були проведені на базі навчально-наукової лабораторії екологічного землеробства та природокористування Центру колективного користування Сумського національного аграрного університету. Обробка здійснювалась з використанням експериментальної лабораторної установки на основі напівпровідникових світлодіодних джерел – світлодіодної фітолампи Grow Light Full Spectrum (рис. 1) має велику площу освітлення, володіє гнучкістю і має 3 окремі головки, що дозволяє збільшити кут освітлення в кілька разів. Завдяки гнучкості кожної окремої головки лампи, можливо підібрати та відрегулювати кут освітлення. Подібна лампа може досягати 360° освітлення. Одна з найголовніших особливостей лампи – індивідуальний режим опромінення. Всього лампа має 3 варіанти: синій (460 нм), синій та червоний (660+460 нм), червоний (660 нм). Кожен спектр опромінення має власну функцію. Заводські характеристики лампи наступні: джерело світла: світлодіод; кількість діодів: 54 LED чіпи (червоних – 36, синіх 18); строк служби (година): 50000; Потужність лампи (Вт): 30 Вт; вхідна напруга (В): AC85-265V.

Об'єктом дослідження виступала м'яка озима пшениця сорту Ліра Одеська. Країна походження Україна, Рік врожаю 2020 р., категорія та генерація СН, перша.

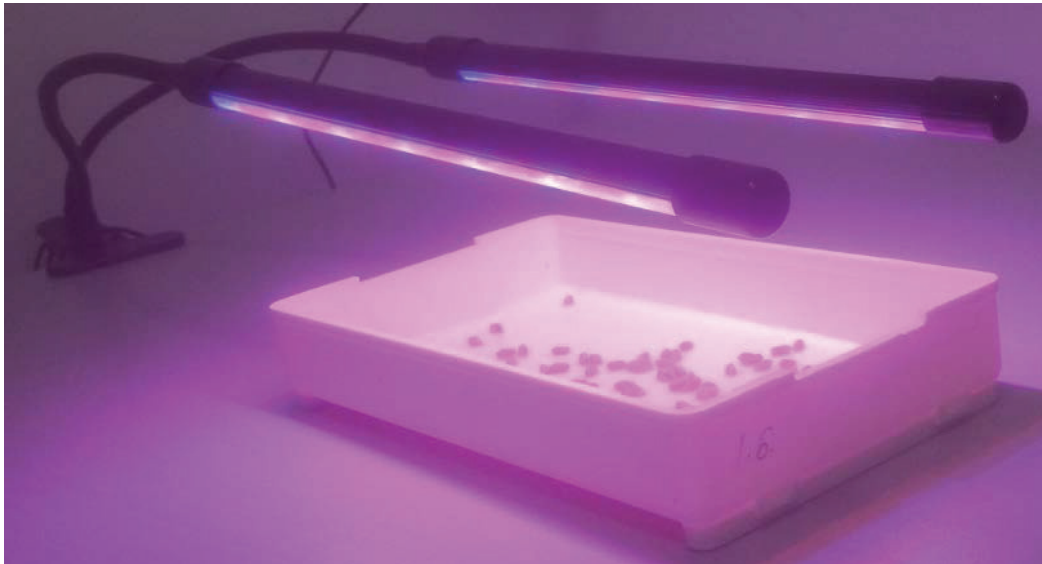


Рис. 1. Світлодіодна фітолампа Grow Light Full Spectrum

Номер партії UA-19-15-089/0106-20. Схожість відповідно до сертифікату на сорт складає 96%, енергія проростання 95%, чистота насіння 99.8%, вологість 12,5%, маса тисячі насінин 37,1 г.

Для лабораторних досліджень відбирали 4 проби по 100 насінини на кожний варіант досліду, розміщували в ростильнях на зволоженому фільтрувальному папері, пророщування проводили в термостаті відповідно до ДСТУ 4138-2002. Визначали енергію проростання на третю добу та схожість на сьому добу як середнє арифметичне результатів пророщування чотирьох проб. На сьому добу виміряли довжину корінців та проростків. В таблицях приведені середні значення результатів обліку.

Досліджувались ефекти дії опромінення різних режимів. Обробку насіння проводили як окремо червоним та синім спектром, так і сумісно. Було обрано два режиму експозиції: короткочасне – впродовж 10 хвилин та подовжене – впродовж 30 хвилин. Варіантами досліду були: 1) опромінення червоним світлом із довжиною хвилі 660 нм впродовж 10 хв; 2) червоним світлом із довжиною хвилі 660 нм впродовж 30 хв; 3) синім світлом із довжиною хвилі 460 нм впродовж 10 хв; 4) синім світлом із довжиною хвилі 460 нм впродовж 30 хв; 5) сумісно 660+460 нм

впродовж 10 хв; 6) сумісно 660+460 нм впродовж 30 хв; 7) в якості контролю використовували неопромінене насіння (рис. 2, 3).

**Результати.** Отримані результати показали певний вплив обробки насіння ЕМВ різних режимів (таблиця 1). Так, найбільший показник енергії проростання спостерігали у варіанті 660+460 нм 30 хв (97%), найнижчий у варіанті 660+460 нм 10 хв (94%). Довжина паростка була найбільшою (12,4 мм) у варіанті 660 нм 10 хв., в той час, як довжина корінця було найбільшим (17,9 мм) на варіанті 460 нм 30 хв.

**Обговорення.** Відсутність (або ж мала дія) ефекту від опромінення з експозицією 10 хвилин на енергію проростання та на схожість може бути пов'язаним з недостатнім часом експозиції та тим, що такі показники відносяться до пролонгованих відповідей, а не швидких.

**Висновки.** Можна зробити висновок, що вплив ЕМВ (червоний 660 нм + синій 460 нм діапазони) впродовж 0,5 години має вплив на перші етапи проростання, а саме – енергію проростання та схожість в лабораторних умовах (в межах декількох відсотків). Такий вплив може мати важливе значення в умовах промислового виробництва насіннєвого матеріалу.



1)



2)





3)



4)



5)



6)



7)

**Рис. 2. Довжина проростків та корінців пшениці озимої залежно від дії опромінення:**  
**1) 660 нм впродовж 10 хв; 2) 660 нм впродовж 30 хв; 3) 460 нм впродовж 10 хв; 4) 460 нм впродовж 30 хв;**  
**5) 660+460 нм впродовж 10 хв; 6) 660+460 нм впродовж 30 хв; 7) контроль**

Таблиця 1

**Результати обліку показників посівної якості зерна пшениці озимої (середні значення)**

| Варіанти дослідів   | Енергія проростання | Схожість | Довжина проростка, мм | Довжина корінця, мм |
|---------------------|---------------------|----------|-----------------------|---------------------|
| 1. 660 нм 10 хв     | 95                  | 97       | 12,4                  | 17,6                |
| 2. 660 нм 30 хв     | 96                  | 95       | 11,7                  | 16,7                |
| 3. 460 нм 10 хв     | 95                  | 94       | 11,3                  | 14,8                |
| 4. 460 нм 30 хв     | 96                  | 95       | 11,5                  | 17,9                |
| 5. 660+460 нм 10 хв | 94                  | 95       | 10,6                  | 16,0                |
| 6. 660+460 нм 30 хв | 97                  | 98       | 11,2                  | 15,3                |
| 7. контроль         | 95                  | 96       | 11,6                  | 15,7                |



1)



2)



3)



4)



5)



6)



7)

**Рис. 3. Енергія проростання насіння пшениці озимої залежно від дії опромінення:**  
**1) 660 нм впродовж 10 хв; 2) 660 нм впродовж 30 хв; 3) 460 нм впродовж 10 хв; 4) 460 нм впродовж 30 хв;**  
**5) 660+460 нм впродовж 10 хв; 6) 660+460 нм впродовж 30 хв; 7) контроль**

### Бібліографічні посилання:

1. Burgie E.S., Vierstra R.D.: Phytochromes: an atomic perspective on photoactivation and signaling. *Plant Cell* 2014, <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.114.131623>
2. Burgie E.S., Bussell A.N., Walker J.M., Dubiel K, Vierstra RD: Crystal structure of the photosensing module from a red/far-red light-absorbing plant phytochrome. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2014, 111:10179-10184.
3. Cecchetti, Daniele & Pawelek, Agnieszka & Wyszowska, Joanna & Antoszewski, Marcel & Szmidt-Jaworska, Adriana. (2022). Treatment of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seeds with Electromagnetic Field Influences Germination and Phytohormone Balance Depending on Seed Size. *Agronomy*. 12. 1423. [10.3390/agronomy12061423](https://doi.org/10.3390/agronomy12061423).
4. Chitose Kami, Séverine Lorrain, Patricia Hornitschek, Christian Fankhauser, Chapter Two – Light-Regulated Plant Growth and Development, Editor(s): Marja C.P. Timmermans, *Current Topics in Developmental Biology*, Academic Press, Volume 91, 2010, Pages 29-66, <https://doi.org/10.1016/j.ctb.2010.06.001>
5. Conrad K.S. Manahan C.C., Crane B.R.: Photochemistry of flavoprotein light sensors. *Nat Chem Biol* 2014, 10:801-809.
6. Engelhard C., Wang X., Robles D., Moldt J., Essen L.O., Batschauer A., Bittl R., Ahmad M.: Cellular metabolites enhance the light sensitivity of Arabidopsis cryptochrome through alternate electron transfer pathways. *Plant Cell* 2014, <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.114.129809>.
7. Galvão, V. C., & Fankhauser, C. (2015). Sensing the light environment in plants: photoreceptors and early signaling steps. *Current opinion in neurobiology*, 34, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2015.01.013>
8. Devesh Singh, Chandrajit Basu, Merve Meinhardt-Wollweber, Bernhard Roth (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 49, Pages 139-147, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.117>.
9. Iqbal, Kanwal. (2020). Effect of Different Light on Wheat (*Triticum aestivum* L) Growth and Role of Phytochrome. *Biotechnology and Bioprocessing*. 1. 01-05. [10.31579/2766-2314/001](https://doi.org/10.31579/2766-2314/001).
10. Kong, SG., Okajima, K. (2016) Diverse photoreceptors and light responses in plants. *J Plant Res* 129, 111–114. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0792-5>
11. Lysyshenko, M., Pankova, O. (2016). Intensyfikatsiia biokhimichnykh protsesiv u nasinni silskohospodarskykh kultur. *Inzheneriia Pryrodokorystuvannia*, 44–47 (№ 2 (6)). [Method of intensification of seeds crops vital activity] <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/2975> (in Ukrainian).
12. Lamsal A, Devkota MP, Shrestha DS, Joshi S, Shrestha A (2019) Seed germination ecology of *Ageratum houstonianum*: A major invasive weed in Nepal. *PLOS ONE* 14(11): e0225430. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225430>
13. Oyewole, Charles. (2016). The wheat crop. *10.13140/RG.2.2.13776.92164*.
14. Sander W. Hogewoning, Govert Trouwborst, Hans Maljaars, Hendrik Poorter, Wim van Ieperen, Jeremy Harbinson. (2010). Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light, *Journal of Experimental Botany*, Volume 61, Issue 11, Pages 3107–3117, <https://doi.org/10.1093/jxb/erq132>
15. Pankova O.V. Proteoliz riznykh sortiv yachmeniu v zalezhnosti vid obrobky nasinnia monokhromatychnym optychnym vyprominiuvanniam chervonoho diapazonu. (2010). *Fotobiologhiia Ta Fotomedytyna*, 3–4, 66–69. [Proteolysis of different sorts of barley in dependence on treatment of seeds by monochromatic optical radiation of red range of spectrum] [http://fnfjournal.univer.kharkov.ua/Ua/nomera/3\\_4\\_2010.pdf](http://fnfjournal.univer.kharkov.ua/Ua/nomera/3_4_2010.pdf) (in Ukrainian)
16. Pankova, O., Puzik, V., & Lysishenko, M. (2021). Vplyv elektromagnitnoho vyprominiuvannia na roslyny. TOV «Planeta-Print», Kharkiv, 159. [The influence of electromagnetic radiation on plants] [https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/8096/3/Pankova\\_Effect\\_of\\_electromagnetic\\_radiation\\_monograph\\_2021.pdf](https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/8096/3/Pankova_Effect_of_electromagnetic_radiation_monograph_2021.pdf) (in Ukrainian)
17. Quail P. H. (2010). Phytochromes. *Current biology: CB*, 20(12), R504–R507. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.04.014>
18. Quail P. H. (2010). Phytochromes. *Current biology: CB*, 20(12), R504–R507. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.04.014>
19. Yoshida, H., Mizuta, D., Fukuda, N., Hikosaka, S., & Goto, E. (2016). Effects of varying light quality from single-peak blue and red light-emitting diodes during nursery period on flowering, photosynthesis, growth, and fruit yield of everbearing strawberry. *Plant biotechnology (Tokyo, Japan)*, 33(4), 267–276. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.16.0216a>

**Pankova O. V.**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

**Syrovytskyi K. G.**, Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Kharchenko S. O.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

**Onychko V. I.**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Tarelnyk V. B.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Dumanchuk M. Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **The method of increase the yield of winter wheat using electromagnetic radiation**

The article presents the results of the analysis of data obtained in laboratory conditions of exposure to electromagnetic radiation in the red and blue ranges, as well as their simultaneous exposure, with different exposure times. One of the most common varieties of winter wheat in the Eastern region was taken for research. The control "group" was the seed that was not subjected to any treatment. The obtained data, namely the energy of germination, laboratory germination and the length of roots and seedlings, allowed to conclude that the most significant effect on the energy of germination and laboratory germination had a variant of the combined action of both red and blue bands during 30 minutes. This approach to seed

*irradiation in the laboratory showed properties to increase the biopotential of seed material. Thus, it is the activation of a group of different photoreceptors, and phytochromes and cryptochromes, that is most effective. Treatment for 10 minutes had almost no effect at all wavelengths. This may be due to the fact that the effect of EMF has a prolonged effect and may manifest itself later. Germination energy and germination are studied at the initial (first week) stage of growth.*

*The detected effect for winter wheat is explained, firstly, by the size of the seeds, secondly, the detected fact can be explained by the features of biochemical processes, in particular, their speed, which requires further study.*

*Overall, the increase in laboratory similarity in seed germination energy ranged from 1 to 9%, which is insignificant in laboratory conditions, but can have a significant effect in field research conditions, taking into account weather conditions and other growing factors. No regularity of changes in the indicators of the length of roots and sprouts was found in all variants of the experiment, which may indicate the insensitivity of this indicator to EMV treatment.*

**Key words:** *winter wheat, electromagnetic radiation, wavelength, phytochrome, agricultural crops, biopotential, productivity.*



## РОЛЬ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ЧЕРЕЗ ОПТИМІЗАЦІЮ ПРОЦЕСІВ СІВБИ

**Рудь Анатолій Володимирович**

доктор філософії в галузі технічних наук, професор

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна

ORCID: 0000-0002-7206-7103

anatoliyrudj@gmail.com

**Грушецький Сергій Миколайович**

кандидат технічних наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна

ORCID: 0000-0002-0487-6152

g.sergiy.1969@gmail.com

**Корчак Микола Миколайович**

кандидат технічних наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна

ORCID: 0000-0002-8726-1881

nikolaykorchak@gmail.com

**Замойський Степан Михайлович**

кандидат технічних наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна

ORCID: 0000-0002-1612-6009

stepanzam@gmail.com

У статті було розглянуто особливості впровадження інноваційних технологій у діяльність сільськогосподарських підприємств та визначено роль цих технологій в процесі оптимізації сівби. Для дослідження цієї проблеми було використано загальнонаукові методи, а саме: аналіз джерел, синтез отриманої інформації, порівняння різних підходів і методів та узагальнення. Було окреслено основні види сучасних технологій, які використовуються у сільському господарстві: блокчейн-технології, нові виробничі технології, технології бездротового зв'язку, робототехніку та big data. Визначено, що використання робототехніки у сільському господарстві дозволяє ефективніше виконувати рутинні завдання та оптимізувати процес сівби. Наведено приклади впровадження робототехніки та технологій на основі штучного інтелекту, які використовуються в Україні. Проаналізовано ефективність використання систем автоматизованого контролю та управління процесом сівби. Встановлено, що використання таких систем для контролю якості технологічного процесу сівби сприяє максимальній оптимізації, забезпеченню відповідної якості посіву, скороченню строків та ефективному використанню матеріальних і фінансових ресурсів, а також зменшенню ручної роботи персоналу. Також зазначено, що важливим аспектом в автоматизації сівби є використання автопілотів на сільськогосподарській техніці. Охарактеризовано систему точного землеробства як одну із найперспективніших технологічних інновацій в аграрному секторі. Аграрії країни активно використовують точне землеробство через його здатність сприяти рівномірному росту та дозріванню рослин, підвищувати врожайність. Акцентовано увагу на деяких проблемних питаннях впровадження сучасних технологій в Україні. Основні з них пов'язані з низьким рівнем залучення інвестицій в новітні технології, недостатнім рівнем матеріально-технічного забезпечення аграрних підприємств, низьким рівнем інформованості аграріїв щодо ефективності новітніх технологій, нерівномірним розподіленням стабільного підключення до Інтернету. У процесі автоматизації і цифровізації сільського господарства та формування продовольчої вартості необхідно враховувати ці проблемні питання. Система заходів щодо активізації інноваційної діяльності сільськогосподарських підприємств має включати пошук шляхів стимулювання розвитку, допомогу та всебічну підтримку держави. Таким чином, інтеграція інноваційних технологій у сільське господарство є ключовим чинником для забезпечення сталого розвитку і високої конкурентоспроможності аграрного сектору у реаліях сьогодення.

**Ключові слова:** автоматизація, агропромисловий комплекс, ефективність виробництва, інноваційні технології, сівба.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.9>

**Вступ.** У сучасних умовах економічної нестабільності забезпечення сталого розвитку аграрного сектору набуває все більшої актуальності, оскільки потребує підвищення конкурентоспроможності української

сільськогосподарської продукції як на внутрішніх, так і на зовнішніх ринках. Для досягнення цієї мети необхідно активно стимулювати впровадження інноваційних підходів та сучасних технологій. Проблема використання

інноваційних технологій в аграрному секторі було частково досліджено у роботах вітчизняних та зарубіжних науковців. Ю. Павельчук у своїй праці розкрив питання використання географічних інформаційних систем та зазначив, що вони допомагають вирішити та підвищити економічну ефективність підприємства, покращити якість та кількість врожаю, спростити низку завдань для співробітників агропромислового виробництва (Pavelchuk, 2023). О. Вишневецька визначила, що сільське господарство у сучасному світі перебуває на початку чергової технологічної революції, в основі якої лежить штучний інтелект, аналітика великих даних, підключені датчики та інші новітні технології, які можуть ще більше підвищити врожайність (Vyshnevetska, 2023). Т. Кучмієва, Т. Мороз та А. Шешунова розглянули проблемні питання використання штучного інтелекту у різних галузях сільського господарства (Kuchmiiova et al., 2020). Т. Власенко, Т. Ларіна та Н. Дзюбановська також акцентували увагу на важливості впровадження інновацій у сфері агропромислового комплексу, а також зазначили, що використання нової сільськогосподарської техніки на основі інноваційних технологій в рослинництві (енерго- та ресурсозберігаючих) буде основним напрямом збільшення обсягів виробництва сільськогосподарської продукції (Vlasenko et al., 2022). Проте, залишаються невирішеними певні питання, зокрема, які пов'язані із ефективністю впровадження сучасних технологій у процес сівби сільськогосподарських культур. Відповідно, **мета дослідження** полягає у вивченні впливу сучасних технологій на сталий розвиток сільського господарства у контексті оптимізації процесу сівби.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження особливостей впровадження сучасних технологій у сільське господарство задля оптимізації процесу сівби було проведено загальнонауковими методами, а саме: аналіз наукових джерел, які дотичні проблемі використання інноваційних технологій та їх впливу на сталий розвиток аграрного сектору; синтез інформації і даних з доступних джерел для виокремлення головних тенденцій розвитку аграрного сектору у контексті інновацій; порівняння підходів до впровадження сучасних технологій; узагальнення отриманих даних для формулювання висновків дослідження та визначення перспектив подальшого розвитку аграрного сектору.

**Результати досліджень.** Фундаментальні науково-технічні зміни та відкриття, які стали актуальними за останні десятиліття, разом з актуалізацією глобальних проблем сучасності, створили передумови для перехідного етапу розвитку агропромислового комплексу. Сільськогосподарські підприємства все активніше впроваджують різні інноваційні розробки та інструменти, які дозволяють підвищити ефективність виробничого процесу та рівень якості продукції. Технології входять до числа чотирьох головних чинників виробництва разом із капіталом, землею та працею (Abbasi et al., 2022). Людство використовує технології для задоволення своїх потреб, що можуть включати трансформацію середовища, розв'язання певних проблем, підвищення ефективності тощо. Концепція сталого розвитку впроваджує нову систему ведення сільського господарства, яка

адаптована до сучасних умов і вимог, що є альтернативою промисловій моделі. Зміни у використанні ресурсів (особливо капіталу та праці) та технічний прогрес теоретично обумовлюють зростання сільськогосподарського виробництва (Vyshnevetska, 2023).

Агроінновації є передовим напрямком еволюції у сільському господарстві, які дадуть змогу задовольнити зростаючі потреби суспільства та отримати економічну вигоду через забезпечення національної продовольчої безпеки. Інноваційний прогрес у розвитку аграрних підприємств повинен ґрунтуватися на використанні передових технологій, які спрямовані на оптимізацію виробництва продукції з мінімізацією витрат. Технологічний аспект інновацій полягає у розробці та впровадженні послідовних процедур і стандартів, які враховують агротехнічні та зоотехнічні вимоги (Vlasenko et al., 2022). Перехід до цифрової економіки у сільському господарстві включає в себе використання різноманітних інформаційних технологій, які пристосовані до особливостей функціонування агропромислового комплексу. Такі технології включають в себе географічні інформаційні системи (ГІС), GPS (Global Positioning System), супутникові знімки, аерофотознімки за допомогою дронів, аналіз Big Data та дослідження масивів онлайн-даних. Використання цифрових технологій призводить до зменшення використання ресурсів (води, добрив та поживних речовин), а також до зниження впливу на екологію та навколишнє середовище, оскільки це допомагає зменшити викиди хімічних речовин та продуктів тваринного походження в ґрунтові води та відкриті водойми.

Всі сучасні технології для сільського господарства можна об'єднати у наступні групи, що проілюстровано на рисунку 1.

Сільське господарство є однією з найбільших галузей для промислового застосування дронів. Приблизно кожне десяте агропідприємство у світі вже впроваджує цю технологію у свою діяльність. Дрони надають цінні дані для аналізу ґрунтів, вимірюють щільність посівів, визначають площу пошкоджених культур і допомагають у вирішенні багатьох інших завдань, що пов'язані із моніторингом і картографуванням оброблюваних площ (Khudaverdieva, 2022). За допомогою дронів стало можливим отримання 3D-зображення, що можна використовувати для прогнозування якості ґрунту. Окрім того, їх можна використовувати для сканування полів та зчитування зображень за допомогою компактних мультиспектральних датчиків, створення GPS-мап, перевезення великогабаритних вантажів.

Хоча дрони можуть надавати значно точнішу інформацію, ніж супутники, останні все ще залишається кращим вибором для моніторингу та картографування великих ділянок землі. Інформація, яку надають сучасні супутникові знімки, дозволяє виробникам сільськогосподарської продукції оцінити стан рослин, визначити відсоток їх в'янення, розрахувати кількість рослинності на полях. Крім того, їх можна використовувати для дистанційного визначення вмісту азоту в ґрунті та зниження негативного впливу якості ґрунту на ранній розвиток рослин.



**Рис. 1. Групи сучасних технологій у сільському господарстві**

Джерело: (Manita & Boltianska, 2020).

Розвиток технології аеродронів сприятиме подальшому розширенню їх застосування у сільському господарстві, включаючи ефективне здійснення обприскування та зрошення.

Робототехніка активно застосовується в таких галузях, як вирощування злакових культур, садівництво, виноградарство, ягідництво та городництво. За допомогою спеціальних роботів-копачів є можливість автоматично розпушувати ґрунт та висівати насіння на задану глибину і відстань. Це значно автоматизує процес сівби і сприяє рівномірному розподілу насіння, а також оптимальному використанню посівної площі. Для автоматичного виявлення шкідників та хвороб на рослинах можуть бути використані роботи-обробники. У разі необхідності вони також можуть виконувати обробку пестицидами або застосовувати добрива для контролю і лікування. Вони використовують різні сенсори та камери для моніторингу рослин, а також системи навігації для визначення точного розташування та обробки певних ділянок (Kuchmiiova et al., 2023).

Прикладом інструменту робототехніки на основі штучного інтелекту є Agrilyst, який можна вважати віртуальним агрономом, що автоматично збирає всю необхідну інформацію про господарство. Спеціальні датчики, які розташовані на території підприємства, збирають всі потрібні дані, обробляють їх та представляють у зрозумілій формі для людини. Таким чином, фермер може:

- переглядати графіки, звіти та таблиці про продуктивність підприємства на екрані планшета або смартфона,
- віддалено спостерігати за виробничим процесом,
- керувати процесом роботи,

- стежити за дотриманням вимог та нормативів.

В Україні наявні і інші варіанти технології, що включають використання розумних машин, зокрема:

- українська аграрна компанія Agroху, як спеціалізується на використанні технологій точного землеробства та оптимізації вибору насіння та добрив;

- компанія Agrieue, яка займається розробкою продуктів дистанційного зондування на основі штучного інтелекту;

- компанія Sasagro надає програмні рішення на основі сучасних технологій для спостереження, контролю та планування аграрного підприємства (Kuchmiiova et al., 2023).

Розвиток рослин та якість урожаю в першу чергу залежить від того, як була проведена сівба. Беручи до уваги обмежені терміни виконання агротехнічних робіт, виправлення помилок, які було припущено під час сівби, неможливе без додаткових матеріальних витрат. Важливим у процесі сівби сільськогосподарських культур є відстеження та оперативне регулювання подачі насіння. На сьогоднішній день для ефективного виконання таких завдань використовуються сучасні інструменти та пристрої моніторингу роботи сільськогосподарської техніки. Принцип дії таких систем базується на встановленні датчиків контролю необхідних параметрів на техніку та використанні оператором планшетного комп'ютеру, за допомогою якого він може відслідковувати інформацію про сівбу в режимі реального часу. Прикладом такої автоматизованої системи є SCSO-25, яка проводить статистичний облік висіву зернових, трав'яних, дрібно- і середньонасінних зернобобових культур за такими параметрами як засіяна площа, швидкість руху,

пройдених шлях та керування приводом технологічної колії. Під час використання системи контролю SCSO-25 у роботі з сівалкою на екрані панелі висіву (основної складової частини) показники якості сівби відображаються у реальному часі (Malyarchuk et al., 2021).

Актуальною проблемою є також зменшення ручного керування і збільшення автоматизації під час управління машинами у процесі сівби сільськогосподарських культур. Один із відомих підходів – це використання систем автоматичного підрулювання та автопілотів. Досвід використання автопілотів на тракторах, комбайнах та інших сільгоспмашинах підтверджує, що показники продуктивності зростають на 30–40% завдяки точному проходженню рядків і зменшенню втоми оператора. Система автопілота дозволяє виконувати завдання навіть в нічний час і в умовах обмеженої видимості, зменшуючи витрати на паливо, насіння, гербіциди та інші ресурси. Для забезпечення високої якості сівби відповідний агрегат має бути оснащений RTK-антеною. У такому випадку для сільськогосподарських потреб купується додатковий пакет доступу до додаткових налаштувань. Оплата здійснюється лише за період виконання робіт, що повністю виправдує витрати (Mondejar et al., 2021).

Високотехнологічною системою управління сільським господарством є система точного землеробства. Вона використовує такі технології, як:

- технології глобального позиціонування (GPS),
- географічні інформаційні системи (GIS),
- технології оцінки врожайності (Yield Monitor Technologies),
- технологію змінного нормування (Variable Rate Technology),
- технології дистанційного зондування ґрунту (ДЗГ) (Pavelchuk, 2023).

Основною метою системи точного землеробства є оцінка і врахування неоднорідності ґрунту на різних ділянках поля, що дозволяє уникнути нерівномірного росту та розвитку рослин. Це сприяє уникненню збитків сільськогосподарського підприємства, які можуть виникнути через виконання непотрібних технологічних операцій (внесення мінеральних добрив, пестицидів, захист рослин тощо). Виробники сільськогосподарської продукції активно використовують точне землеробство через те, що воно допомагає рослинам рівномірно зростати і дозрівати, підвищує кількість врожаю та дозволяє заощаджувати на пестицидах.

Завдяки сучасним інформаційним технологіям фермери можуть щороку не лише досягати високих врожаїв, але й ефективно і вчасно реалізовувати їх за вигідними цінами. Зростаюча доступність до мережі Інтернет, завдяки поширенню комп'ютерних та інших інформаційно-комунікаційних технологій, привертає все більше уваги фермерів. Швидкий розвиток ринку електронної комерції також дозволяє припустити, що у найближчому майбутньому сільськогосподарську продукцію можна буде придбати не виходячи з дому або офісу (Mushchenyk, 2023).

**Обговорення.** Сталий розвиток сільського господарства вимагає впровадження комплексу заходів, які

спрямовані на максимальне використання та швидку адаптацію сучасних технологій, а також на перехід до інноваційної моделі розвитку галузі. Використання робототехніки у сільському господарстві дозволяє оптимізувати виконання рутинних завдань, створювати оптимальні умови для зростання рослин, точно контролювати полив, добрива та захист від шкідників. Ці нові методи ведення сільського господарства можуть охоплювати весь виробничий процес та інструменти – від обладнання (техніки), наприклад, автономних тракторів чи дронів, аж до моніторингу посівів та врожаю за допомогою датчиків (сенсорів). Точне землеробство революціонізує сільськогосподарську галузь, тому що ефективно забезпечує здатність керувати насінням, добривами, водою та культурами. Високий рівень автоматизації сприяє стабільності вирощування рослин та підвищенню продуктивності господарства.

Проте в Україні на сьогоднішній день потенціал сучасних технологій у сільському господарстві не використовується повною мірою. Це пов'язано з низьким рівнем залучення інвестицій в новітні технології, недостатнім рівнем матеріально-технічного забезпечення аграрних підприємств та низьким рівнем інформованості аграріїв щодо ефективності новітніх технологій. Ще однією проблемою є нерівномірне розподілення стабільного підключення до мережі Інтернет, що є необхідним для забезпечення роботи більшості нових технологій (Rudenko, 2019).

Можливим негативним аспектом може стати виникнення опору змінам та впровадженню нових технологій внаслідок розриву знань для потреб сільського господарства з боку нових постачальників технологій. Незалежно від віку або сектору, аграрії можуть реагувати однаково чутливо на нові технології та їх впровадження. У процесі автоматизації та цифровізації сільського господарства і формування продовольчої вартості необхідно враховувати ці проблемні питання.

Система заходів щодо активізації інноваційної діяльності сільськогосподарських підприємств має включати наступні аспекти:

- створення системи державної підтримки сільськогосподарських підприємств, що впроваджують у свою діяльність сучасні технології;
- створення системи пільгового кредитування;
- залучення іноземних та вітчизняних інвесторів до сільськогосподарської сфери;
- державна підтримка фундаментальних наукових розробок (Kravchenko, 2020).

Сучасна концепція розвитку інноваційних індустрій та цифрових інститутів в Україні знаходиться на стадії формування. Основний принцип успішності в цій області полягає у пошуку шляхів стимулювання розвитку через надання допомоги та всебічної підтримки з боку держави (Manita & Boltianska, 2020).

**Висновки.** Сучасні технології у сільському господарстві надають достовірну та доступну аналітику стану полів та угідь, яка стає корисною для широкого кола користувачів. Впровадження інноваційних технологій призвело до вдосконалення методів обробки



посівів та полів, що забезпечує ефективність, безпеку та належну прибутковість як колективного сільгоспвиробника, так і індивідуального фермера. Оптимізація умов вирощування сільськогосподарських культур, а, зокрема, їхнього посіву за допомогою різних сучасних технологій, дозволяє покращити якість продукції, збільшити її кількість, сприяє забезпеченню відповідної якості посіву, скороченню строків та зменшенню використання ручної роботи персоналу. Проте, для всеосяжної реалізації потенціалу інноваційних

технологій і забезпечення сталого розвитку сільськогосподарської сфери важливим є впровадження певної системи заходів, що включатиме підтримку на державному рівні, залучення іноземних та вітчизняних інвесторів, а також створення системи пільгового кредитування. Перспективи подальших досліджень можуть включати аналіз ефективності сучасних технологій у забезпеченні продовольчої безпеки та підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору України на світовому ринку.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology*, 2, Article 100042. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100042>
2. Khudaverdieva, V. (2022). Priorityty innovatsiinoho rozvytku haluzi silskoho hospodarstva [Priorities of innovative development of the agricultural sector]. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 1(3), 62–86. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20220103.6> (in Ukrainian)
3. Kravchenko, M. V. (2020). Mekhanizmy vprovadzhennia innovatsiinykh tekhnolohii u vyrobnytstvo aharnoho sektoru [Mechanisms of introducing innovative technologies into the production of the agrarian sector]. *Innovative Economy*, (7–8), 158–164. <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2020.7-8.22> (in Ukrainian)
4. Kuchmiiova, T. S., Moroz, T. O., & Sheshunova, A. V. (2023). Vykorystannia shtuchnoho intelektu v silskomu hospodarstvi [Use of artificial intelligence in agriculture]. *Modern Economics*, (39), 69–74. [https://doi.org/10.31521/modecon.V39\(2023\)-10](https://doi.org/10.31521/modecon.V39(2023)-10) (in Ukrainian)
5. Malyarchuk, V., Lehkodukh, I., & Demydov, S. (2021). Doslidzhennya efektyvnosti vykorystannia systemy kontrolyu ta keruvannia vysivom SCSO-25 na sivaltsi S3-3 «Astra-3» [Research on the efficiency of using the SCSO-25 sowing control and management system on the C3-3 "Astra-3" seeder]. *Technical and Technological Aspects of Development and Testing of New Machinery and Technologies for Agriculture of Ukraine*, 28(42), 116–126. [https://doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-28\(42\)-9](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-28(42)-9) (in Ukrainian)
6. Manita, I. Yu., & Boltianska, N. I. (2020). Pytannia tsyfrovizatsii silskoho hospodarstva v Ukraini [The issue of digitalization of agriculture in Ukraine]. In *Tekhnichne zabezpechennia innovatsiinykh tekhnolohii v ahropromyslovomu kompleksi* (pp. 346–350). Melitopol: Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University. <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/12607/1/Manita%20I.Yu..pdf> (in Ukrainian)
7. Mondejar, M. E., Avtar, R., Diaz, H. L. B., Dubey, R. K., Esteban, J., Gómez-Morales, A., ... & Garcia-Segura, S. (2021). Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet. *Science of The Total Environment*, 794, Article 148539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148539>
8. Mushchenyk, I. (2023). Rol informatsiinykh tekhnolohii u silskomuhospodarstvi [The role of information technologies in agriculture]. In N. Orlova, O. Shevchuk, & N. Mentuh (Eds.), *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference «Principles of science. Ideals, norms, values in science and style of scientific thinking»* (pp. 17–19). Tallinn, Estonia: InterSci. <https://intersci.eu/wp-content/uploads/2023/04/Principles-of-science.-Ideals-norms-values-in-science-and-style-of-scientific-thinking.pdf#page=18> (in Ukrainian)
9. Pavelchuk, Yu. (2023). Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii u silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Use of information technologies in agricultural production]. *Science and Technology Today*, (4(18)), 335–347. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-4\(18\)-335-347](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-4(18)-335-347) (in Ukrainian)
10. Rudenko, M. V. (2019). Vplyv tsyfrovyykh tekhnolohii na aharne vyrobnytstvo: metodychnyi aspekt [Impact of digital technologies on agricultural production: methodical aspect]. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University Series: Economy and Management*, 30(6), 30–37. <https://doi.org/10.32838/2523-4803/69-6-28> (in Ukrainian)
11. Vlasenko, T., Larina, T., & Dziubanovska, N. (2022). Vplyv innovatsii na upravlinnia tekhnolohichnym rozvytkom haluzi roslynnytstva [The influence of innovations on the management of technological development of the field of crop production]. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Series: "Economic Sciences"*, 2(6), 370–375. [https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-312-6\(2\)-62](https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-312-6(2)-62) (in Ukrainian)
12. Vyshnevetska, O. V. (2023). Rozvytok innovatsiinykh tekhnolohii v roslynnytstvi [Development of innovative technologies in crop production]. *Scientific Perspectives*, (10(40)), 385–397. [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-10\(40\)-385-397](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2023-10(40)-385-397) (in Ukrainian)

**Rud A. V.**, Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Professor, Higher Educational Institution "Podillia State University", Kamianets-Podilskyi, Ukraine

**Hrushetskyi S. M.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Higher Educational Institution "Podillia State University", Kamianets-Podilskyi, Ukraine

**Korchak M. M.**, PhD, Associate Professor, Higher Educational Institution "Podillia State University", Kamianets-Podilskyi, Ukraine

**Zamojskyj S. M.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Higher Educational Institution "Podillia State University", Kamianets-Podilskyi, Ukraine

### **The role of modern technologies in ensuring sustainable development in agriculture through optimization of sowing processes**

The article considered the features of the implementation of innovative technologies in the activities of agricultural enterprises, determined the role of these technologies in the process of optimizing sowing. General scientific methods were used to research this issue, namely, analysis of sources, synthesis of received information, comparison of different approaches and methods, and generalization. The article outlined the main types of modern technologies used in agriculture. Blockchain technologies, new production technologies, wireless communication technologies, robotics and big data were attributed to them. It was determined that the use of robotics in agriculture allows for more efficient performance of routine tasks and optimization of the sowing process. Examples of robotics and technologies based on artificial intelligence, which are used in Ukraine, are given. The effectiveness of the use of systems of automated control and management of the sowing process was analyzed. It was determined that the use of such systems for quality control of the technological process of sowing contributes to maximum optimization, ensuring the appropriate quality of sowing, shortening of deadlines and effective use of material and financial resources, as well as reducing the manual work of personnel. It is noted that an important aspect in the automation of sowing is also the use of autopilots on agricultural machinery. The system of precision agriculture is characterized as one of the most promising technological innovations in the agricultural sector. The agrarians of the country actively use precision agriculture due to its ability to promote uniform growth and ripening of plants, to increase yields. Attention is focused on some problematic issues of the introduction of modern technologies in Ukraine. The main ones are related to the low level of attracting investments in the latest technologies, the insufficient level of material and technical support of agricultural enterprises, the low level of awareness of farmers regarding the effectiveness of the latest technologies, and the uneven distribution of stable Internet connections. In the process of automation, digitization of agriculture and the formation of food value, it is necessary to take into account these problematic issues. The system of measures to activate the innovative activity of agricultural enterprises should include the search for ways to stimulate development, assistance and comprehensive support of the state. Thus, the integration of innovative technologies in agriculture is a key factor for ensuring sustainable development and high competitiveness of the agricultural sector in today's realities.

**Key words:** agro-industrial complex, automation, innovative technologies, production efficiency, sowing.

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОХІДНИХ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДІВ ШОВКОВИЦІ

Самілик Марина Михайлівна

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-4826-2080

maryna.samilyk@snau.edu.ua

Носик Микола Іванович

аспірант

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0009-0001-0076-4487

ars\_nick\_14@ukr.net

Шовковиця містить компоненти з високою доданою вартістю, такі як антоціани, феноли, флавоноїди та інші біологічно активні сполуки, які можна використовувати як функціональні інгредієнти. Проте важливо забезпечити такий спосіб її переробки, який дозволить зберегти біологічну цінність похідних переробки та продуктів, виготовлених на їх основі. Метою дослідження є оцінка якості похідних переробки шовковиці, отриманих при осмотичному зневодненні плодів, з метою подальшого їх використання у виробництві напоїв. Плоди дикорослої *Morus nigra* промивали та змішували із 70 % розчином сахарози (гідромодуль 1), попередньо нагрітим до  $65 \pm 5^\circ\text{C}$ . Протягом 1 години проводили осмотичну дегідратацію плодів в лабораторній установці для проведення осмотичної дегідратації за температури  $50 \pm 5^\circ\text{C}$ . Осмотичний розчин відокремлювали від частково зневоднених плодів та аналізували. Визначали органолептичні, фізико-хімічні та антиоксидантні показники розчину за загальноприйнятими методиками. Розчин мав солодкий смак та аромат шовковиці, насичений темно-фіолетовий колір, який свідчив про активний перехід барвних речовин, зокрема, антоціанів та флавоноїдів. Дослідження показало, що у осмотичний розчин переходить  $42,60 \pm 0,25 \text{ мг/100г}$  антоціанів та  $268,40 \pm 0,25 \text{ мг/100г}$  флавоноїдів. Внаслідок осмотичного зневоднення масова частка сухих речовин в осмотичному розчині знижується на 13,2 %, а масова частка сахарози – на 18,5%. Осмотичний розчин мав помірну активну кислотність  $\text{pH}=5,9$ , при якій колір барвних речовин залишається стабільним. Запропонований спосіб переробки та застосування похідних продуктів шовковиці дозволить виробникам вина покращити його антиоксидантний потенціал.

**Ключові слова:** *Morus nigra*, антоціани, флавоноїди, активна кислотність, осмотична дегідратація, похідні переробки, масова частка сахарози, масова частка сухих речовин.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.10>

**Вступ.** *Morus nigra* має різноманітне застосування в сільському господарстві, косметичній галузі, харчовій та фармацевтичній промисловості. У цій лікарській рослині містяться такі фітохімічні речовини, як стероїди, сапоніни, алкалоїди, глікозиди, полісахариди та фенольні сполуки. Додавання шовковиці в харчові продукти покращує стабільність фенолів, сенсорні властивості, антиоксидантну активність та антимікробні властивості (Maqsood et al., 2022).

Плоди чорної шовковиці цінуються як найбільш привабливі для споживання у свіжому вигляді, оскільки вони мають яскраво виражений смак та аромат, соковитість. Крім того, вони мають вищий фітохімічний вміст, придатні для виробництва фруктових соків і є найбільш використовуваним видом у народній медицині (Meena et al., 2022). Шовковиця містить компоненти з високою доданою вартістю, такі як антоціани, феноли, флавоноїди та інші біологічно активні сполуки, які можна використовувати як функціональні інгредієнти в нутрицевтиках (Hao et al., 2022).

Антоціани відповідають за природний яскравий колір, а також за антиоксидантні властивості плодів. Окрім надання кольору, антоціани володіють відомими фармакологічними властивостями та специфічними

властивостями для покращення здоров'я, такими як протизапальна, антиоксидантна та протиракова активність, а також покращують хронічні захворювання (Rohela et al., 2020).

Сучасні дослідження підкреслюють, що біоактивні сполуки в плодах шовковиці, включаючи вітаміни, мінерали, клітковину, амінокислоти, полісахариди, поліфеноли, флавоноли, фенольні кислоти та антоціани (Kattil et al., 2024). Фармакологічні переваги для здоров'я включають антиканцерогенний, антикардіоваскулярний, нейропротекторний, антигіперглікемічний, антиоксидантний, протидіабетичний та протизапальний ефекти (Can et al., 2021; Dzah et al., 2021).

Незважаючи на численні поживні та фармакологічні переваги, біотехнологічний потенціал шовковиці залишається, в основному, невикористаним через високий вміст вологи. Високий вміст вологи призводить до короткого терміну зберігання та підвищеної швидкопсувності. Плоди шовковиці містять більше 70% води та мають тонку м'якоть (Jan et al., 2021). Тому на їх основі виробляються різноманітні продукти з доданою вартістю.

Зазвичай плоди шовковиці переробляють на харчові барвники (Chen et al., 2017; Vega et al., 2021), шоколад збагачений мікроелементами (Özgüven et al., 2016),

макаронні вироби з гіпоглікемічним ефектом (Yazdankhah et al., 2019), варення без цукру та джеми (Yadav & Yadav, 2020; Tomas et al., 2017), соки та сиропи (Memete et al., 2022; Yilmaz et al., 2020), льодяники та желе (Kurt et al., 2021), вина (Tchabo et al., 2018).

Термічні технології, що застосовуються у виробництві продуктів на основі шовковиці, мають обмеження, включаючи розпад поживних речовин, зміни смаку та кольору, високе споживання енергії та неповний контроль мікроорганізмів. У відповідь на ці виклики досліджуються альтернативні нетеплові технології. Однією із таких технологій може бути обробка плодів шовковиці осмотичною дегідратацією, яка проводиться при невисоких температурах.

**Метою дослідження** є оцінка якості похідних переробки шовковиці, отриманих при осмотичному зневодненні плодів, з метою подальшого їх використання у виробництві напоїв.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити органолептичні показники якості розчинів, отриманих після осмотичної дегідратації плодів шовковиці;
- дослідити фізико-хімічні показники якості розчинів, отриманих після осмотичної дегідратації плодів шовковиці;
- визначити вміст флавоноїдів та антоціанів у розчинах, отриманих після осмотичної дегідратації плодів шовковиці.

**Матеріали і методи досліджень.** Плоди дикорослої *Morus nigra* було зібрано у червні 2023 року на території Сумської області. Обережно промиті плоди змішували із 70 % розчином сахарози (гідромодуль 1), попередньо нагрітим до  $65 \pm 5^\circ\text{C}$ . Протягом 1 години проводили осмотичну дегідратацію плодів в лабораторній установці для проведення осмотичної дегідратації (Samilyk et al., 2023). Температура дегідратації становила  $50 \pm 5^\circ\text{C}$ . Частково зневоднені плоди розбавляли водою (співвідношення 1:1) та використовували в якості основи для виробництва вина. Відокремлений осмотичний розчин аналізували.

Дескриптори органолептичної оцінки було сформовано самостійно, але із врахуванням показників встановлених для добавок фруктових для збагачення продуктів дитячого харчування. Оцінювали запах, колір, консистенцію. Органолептичну оцінку проводили непрофесійні дегустатори різного віку та статі (10 чоловік).

Масову частку сухих речовин в осмотичних розчинах визначали за допомогою лабораторного рефрактометра. Перед вимірюванням розчин охолоджували до  $20^\circ\text{C}$ .

Для визначення масової частки сахарози в осмотичному розчині наважку розчину (26 г) температурою  $20^\circ\text{C}$  зважували на технічних вагах і переводили дистильованою водою в колбу 100 см<sup>3</sup>. Додавали 2–4 см<sup>3</sup> свинцевого оцту для освітлення та доводили до мітки дистильованою водою. Вміст колби добре перемішували та фільтрували через паперовий фільтр. Вміст сахарози визначали за допомогою поляриметра в кюветі довжиною 200 мм.

Активну кислотність осмотичного розчину визначали потенціометричним методом за допомогою лабораторного рН-метра рН-500. Температура зразка під час визначення становила  $20^\circ\text{C}$ .

Вміст антоціанів визначали методом високоефективної рідинної хроматографії (Agilent Technologies 1200, детектор з UV-Vis Abs, детекція при  $\lambda=520$  нм. Антоціани розділяли за допомогою колонки Agilent TC-C18 (5 мкм, 4,6 мм × 250 мм) при  $25^\circ\text{C}$ . Використовували наступні рухомі фази: 5% мурашину кислоту (А) і 100% метанол (Б) при швидкості потоку 1,0 мл/хв. Умови градієнта починалися з 15% В і лінійно збільшувалися до 30% В через 20 хв. Результати виражали в мг/100 г.

Вміст флавоноїдів визначали методом вимірювання сигналу для дослідної проби та проби з відомою добавкою буферного компонента. Оцінка концентрації компонента в пробі проводилася графічно. На основі отриманих даних будували графік залежності результатів вимірювань від концентрації речовин. Отриманий графік екстраполювали до перетину з віссю концентрації (котрий відповідає нульовій концентрації). Відрізок на осі між точкою перетину і абсцисою сигналу при концентрації приймався значенням шуканої концентрації. Результати виражали у мг кварцетину на 100 г.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Розчин отриманий при осмотичному зневодненні плодів шовковиці за зовнішнім виглядом мав ознаки характерні даному виду сировини. Консистенція була однорідною в'язкою, плинною не драгливалася. Колір темно-фіолетовий, майже чорний, рівномірний по всьому об'єму. Смак солодкий з присмаком шовковиці. Запах характерний сировині.

Серед фізико-хімічних показників для зберігання та подальшого застосування велике значення має масова частка сухих речовин, вміст сахарози та рН.

Результати дослідження фізико-хімічних показників якості осмотичних розчинів представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Фізико-хімічні показники розчинів,  
отриманих після осмотичної дегідратації  
плодів шовковиці**

| Найменування показників        | Значення |
|--------------------------------|----------|
| Масова частка сахарози, %      | 51,5     |
| Масова частка сухих речовин, % | 56,8     |
| рН                             | 5,9      |

Результати показали, що при осмотичній дегідратації, у розчин із плодів шовковиці дифундує частина води. Внаслідок чого масова частка сухих речовин в ньому знижується на 13,2 %. Також, зменшується масова частка сахарози на 18,5%. Різниця між масовою часткою сухих речовин та сахарози, ймовірно, свідчить про дифузії у осмотичний розчин інших вуглеводів. Осмотичний розчин має помірну кислотність. В залежності від рН середовища змінюється колір антоціанів. З огляду на те, що безалкогольні напої та вина мають кислу рН середовища, барвник буде мати стабільний колір.



Результати дослідження фенольних сполук у розчинах, отриманих після осмотичної дегідратації плодів шовковиці, представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Вміст флавоноїдів та антоціанів у розчинах, отриманих після осмотичної дегідратації плодів шовковиці**

| Найменування показників | Значення      |
|-------------------------|---------------|
| Флавоноїди, мг К/100 г  | 268,40 ± 0,25 |
| Антоціани, мг/100 г     | 42,60 ± 0,25  |

Результати дослідження показали, що похідні переробки шовковиці, осмотичні розчини, мають досить високий вміст фенольних сполук, а саме, флавоноїдів та антоціанів. Фенольні сполуки позитивно впливають на якість вина, впливаючи на його смако-ароматичні властивості (He et al., 2012). Колір є одним із найважливіших атрибутів червоних вин, і основними джерелами червоного кольору у винах є антоціани або їхні подальші похідні. Підвищення стійкості кольору вина в процесі бродіння і зберігання дозволить підвищити товарність продукції

вин із шовковиці. Тому утворення пігменту антоціану під час обробки є вирішальним для забезпечення оптимального кольору. На відміну від інших флавоноїдних сполук у червоних винах, антоціани за своєю суттю не сприяють терпкості чи гіркоти у роті. Хоча антоціани не мають запаху та майже без смаку, вони можуть взаємодіяти з деякими ароматичними речовинами та впливати на смак вина.

Таким чином, додавання осмотичного розчину перед спиртовим бродінням дозволить суттєво збільшити кількість індивідуальних антоціанів та окремих фенолокіслот, зберегти колір і підвищити антиоксидантну здатність вина.

**Висновки.** Осмотичний розчин, отриманий при осмотичній дегідратації плодів шовковиці, за органолептичними, фізико-хімічними та антиоксидантними показниками має потенціал до використання в якості функціонального харчового інгредієнту. Зокрема, запропонований спосіб переробки та застосування похідних продуктів шовковиці дозволить виробникам вина покращити його антиоксидантний потенціал, що дуже важливо для потенційних споживачів.

**Бібліографічні посилання:**

1. Can, A., Kazankaya, A., Orman, E., Gundogdu, M., Ercisli, S., Choudhary, R., Karunakaran, R. (2021). Sustainable Mulberry (*Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L.) Production in Eastern Turkey. *Sustainability*, 13, 13507. <https://doi.org/10.3390/su132413507>.
2. Chen, H., Yu, W., Chen, G., Meng, S., Xiang, Z., He, N. (2017). Antinociceptive and Antibacterial Properties of Anthocyanins and Flavonols from Fruits of Black and Non-Black Mulberries. *Molecules*, 23, 4. DOI: 10.3390/molecules23010004.
3. Dzah, C.S., Duan, Y., Zhang, H., Boateng, N.A.S., Ma, H. (2020). Latest developments in polyphenol recovery and purification from plant by-products: A review. *Trends Food Sci. Technol*, 99, 375–388. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.003>.
4. Hao, J., Gao, Y., Xue, J., Yang, Y., Yin, J., Wu, T., Zhang, M. (2022). Phytochemicals, Pharmacological Effects and Molecular Mechanisms of Mulberry. *Foods*, 11, 1170. <https://doi.org/10.3390/foods11081170>.
5. He, F., Liang, N.N., Mu, L., Pan, Q.H., Wang, J., Reeves, M.J., Duan, C.Q. (2012). Anthocyanins and their variation in red wines I. Monomeric anthocyanins and their color expression. *Molecules*, 17(2), 1571–601. doi: 10.3390/molecules17021571.
6. Jan, B., Parveen, R., Zahiruddin, S., Khan, M.C., Mohapatra, S., Ahmad, S. (2021). Nutritional constituents of mulberry and their potential applications in food and pharmaceuticals: A review. *Saudi. Biol. Sci*, 28, 3909–3921. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.056>.
7. Kattil, A., Hamid, Kumar Dash, K., Shams, R., Sharma, Sh. (2024). Nutritional composition, phytochemical extraction, and pharmacological potential of mulberry: A comprehensive review. *Future Foods*, 9, 100295. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100295>.
8. Kurt, A., Bursa, K., Tokar, O.S. (2022). Gummy Candies Production with Natural Sugar Source: Effect of Molasses Types and Gelatin Ratios. *Food Sci. Technol. Int. Cienc. Tecnol. Los Aliment. Int*, 28(2), 118–127. doi: 10.1177/1082013221993566.
9. Maqsood, M., Anam Saeed, R., Sahar, A., Khan, M. I. (2022). Mulberry plant as a source of functional food with therapeutic and nutritional applications: A review. *Food Biochem*, 46(11), e14263. doi: 10.1111/jfbc.14263.
10. Meena, V.S., Gora, J.S., Singh, A., Ram, C., Meena, N.K., Pratibha, A., Rouphael, Y., Basile, B., Kumar P. (2022). Underutilized fruit crops of Indian arid and semi-arid regions: importance, conservation and utilization strategies *Horticulturae*, 8 (2), 171, <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020171>.
11. Memete, A. R., Tima, A.V., Vuscan, A.N., Miere, F., Venter, A.C., Vicas, S. I. (2022). Phytochemical Composition of Different Botanical Parts of *Morus* Species, Health Benefits and Application in Food Industry. *Plants*, 11(2), 152. <https://doi.org/10.3390/plants11020152>.
12. Özgüven, Karadağ, A., Duman, Ş., Özkal, B., Özçelik B. (2016). Fortification of dark chocolate with spray dried black mulberry (*Morus nigra*) waste extract encapsulated in chitosan-coated liposomes and bioaccessability studies *Food Chem.*, 201, 205-212, 10.1016/j.foodchem.2016.01.091.
13. Rohela, G.K., Shukla, P., Muttanna, K.R., Chowdhury, S.R (2020). Mulberry (*Morus* spp.): an ideal plant for sustainable development. *Trees For People*, 2 (4), 100011, 10.1016/j.tfp.2020.100011.
14. Samilyk, M., Bal'-Prylipko, L., Korniienko, D., Paska, M., Ryzhkova, T., Yatsenko, I., Hnoievyyi I., Tkachuk, S., Bolgova, N., & Sokolenko, V. (2023). Determination of quality indicators of sugar fortified with a by-product of elderberry processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(11 (124), 65–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.284885>.

15. Tchabo W, Ma Y, Kwaw E, Zhang H, Xiao L, Apaliya MT.(2018). Statistical interpretation of chromatic indicators in correlation to phytochemical profile of a sulfur dioxide-free mulberry (*Morus nigra*) wine submitted to non-thermal maturation processes. *Food Chem*, 239, 470–477. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.06.140.
16. Tomas, M., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Hall, R.D., Beekwilder, J., Capanoglu, E. (2017). Processing Black Mulberry into Jam: Effects on Antioxidant Potential and in Vitro Bioaccessibility. *J. Sci. Food Agric*, 97, 3106–3113. DOI: 10.1002/jsfa.8152.
17. Vega, E.N., Molina, A.K., Pereira, C., Dias, M.I., Heleno, S.A., Rodrigues, P., Fernandes, I.P., Barreiro, M.F., Stojković, D., Soković, M., Carrocho, M., Barreira, J.C.M., Ferreira, I.C.F.R., Barros, L. (2021). Anthocyanins from *rubus fruticosus* L. and *morus nigra* L. applied as food colorants: a natural alternative. *Plants*, 10 (6), 1181, 10.3390/plants10061181.
18. Yadav Gulia, G., Yadav B. (2020). Development of mulberry enriched fruit jam by replacing refined sugar with mulberry fruit. *Int. J.*, 9 (01), 4079-4083.
19. Yazdankhah, S., Hojjati, M., Azizi, M.H. (2019). The antidiabetic potential of black mulberry extract-enriched pasta through inhibition of enzymes and glycemic index. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 74 (1), 149-155, 10.1007/s11130-018-0711-0.
20. Yilmaz, S., Ergün, S., Yigit, M., Yilmaz, E., Ahmadifar, E. (2020). Dietary Supplementation of Black Mulberry (*Morus nigra*) Syrup Improves the Growth Performance, Innate Immune Response, Antioxidant Status, Gene Expression Responses, and Disease Resistance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol*, 107, 211–217. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.09.041.

**Samilyk M. M.**, PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Nosyk M.I.**, Postgraduate student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Assessment of the quality of processing derivatives of mulberry fruits**

Mulberry contains components with high added value such as anthocyanins, phenols, flavonoids and other biologically active compounds that can be used as functional ingredients. However, it is important to ensure such a method of its processing that will preserve the biological value of the processing derivatives and products made on their basis. The purpose of the study is to evaluate the quality of mulberry processing derivatives obtained during osmotic dehydration of fruits, with the aim of their further use in the production of beverages. The fruits of wild *Morus nigra* were washed and mixed with a 70% sucrose solution (hydromodule 1), preheated to  $65 \pm 5^\circ\text{C}$ . For 1 hour, osmotic dehydration of fruits was carried out in a laboratory setup for osmotic dehydration at a temperature of  $50 \pm 5^\circ\text{C}$ . Next, the osmotic solution was separated from the partially dehydrated fruits and analyzed. The organoleptic, physicochemical and antioxidant indicators of the solution were determined according to generally accepted standard methods. According to organoleptic parameters, the solution resembled the raw material. The organoleptic, physicochemical and antioxidant indicators of the solution were determined according to generally accepted standard methods. According to organoleptic parameters, the solution resembled the raw material. The rich dark purple color testified to the active transition of coloring substances, in particular anthocyanins and flavonoids. The study showed that  $42,60 \pm 0,25\text{mg}/100\text{g}$  of anthocyanins pass into the osmotic solution. As a result of osmotic dehydration, the mass fraction of dry substances in the osmotic solution decreases by 13,2%, and the mass fraction of sucrose – by 18,5%. The osmotic solution had moderate active acidity  $\text{pH}=5.9$ , at which the color of dyes remains stable. The proposed method of processing and application of mulberry derivative products will allow wine producers to improve its antioxidant potential, which is very important for potential consumers.

**Key words:** *Morus nigra*, anthocyanins, flavonoids, active acidity, osmotic dehydration, derived products, mass fraction of sucrose, mass fraction of dry substances.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ КАРТОПЛІ В УМОВАХ АГРОПІДПРИЄМСТВ МАЛИХ ФОРМ ГОСПОДАРЮВАННЯ

**Семірненко Світлана Леонідівна**

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-9304-3637

svitlana.semirnenko@snau.edu.ua

**Семірненко Юрій Іванович**

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-4230-4614

yurii.semirnenko@snau.edu.ua

*Найбільш трудомістким для всіх агропідприємств, а особливо для підприємств малих форм господарювання, є технологічний процес збирання картоплі. Вказаних підприємствах на збирання бульб даної культури витрачається близько 60 % витрат праці. Даний технологічний процес потребує також значних енергетичних витрат.*

*При цьому, найбільший відсоток пошкоджень бульби картоплі отримують саме при механізованому збиранні. Проведений аналіз досліджень вказує на те, що при збиранні картоплі картоплезбиральними комбайнами, близько 20 % від валового збору бульб травмуються, що в подальшому приводить до їх втрат при зберіганні.*

*Другим джерелом втрат картоплі при механізованому збиранні є не викопані та не підняті на поверхню бульби. При цьому у залежності від ряду факторів, відсоток втрат бульб може значно різнитися і знаходитись в межах від 5 % до 16 %.*

*Відповідно до статистичних даних за останні три роки площі під картоплею у сільськогосподарських підприємствах малих форм господарювання становлять від одного до десяти гектар. Тому, для даних агропідприємств застосування комбайнової технології збирання картоплі є недоцільним ні з технічної, ні з економічної точки зору. Неможливість використання комбайнової технології збирання картоплі обумовлена ще й відсутністю тракторів необхідного тягового класу для агрегування картоплезбиральних комбайнів. Крім того, значна частина вказаних господарств не мають тракторів, а застосовують у якості тягового засобу мотоблоки різної потужності. У зв'язку з чим дані агропідприємства для збирання врожаю бульб картоплі використовують, як правило, картоплекопачі.*

*В статті проведений аналіз технічних засобів для збирання бульб картоплі в агропідприємствах малих форм господарювання, їх розподіл за характером технологічного процесу.*

*Проведені теоретичні дослідження по визначенню раціонального діаметру дискових ножів. Проведені дослідження по визначенню впливу розташування осі дискових ножів відносно носка леміша картоплекопача на якісні показники його роботи. Визначено раціональний виліт осі дискових ножів відносно носка леміша. Були проведені дослідження по визначенню впливу глибини ходу дискових ножів на якісні показники роботи агрегату. В результаті досліджень визначено раціональну глибину ходу дискових ножів.*

*Визначено відсоток зменшення втрат бульб картоплі за рахунок використання картоплекопача із запропонованими дисковими ножами та параметрами їх установки.*

**Ключові слова:** картопля, технологія, збирання, дослідження, викопування, дискові ножі, картоплекопач, втрати.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.11>

**Вступ.** Збирання картоплі – операція, що потребує значних витрат праці не тільки у виробництві товарних бульб, а й взагалі у виробництві рослинної сільськогосподарської продукції. Не дивлячись на механізовані технології збирання картоплі, витрати праці в залежності від технологій, засобів механізації та призначення продукції можуть становити близько 300 людино-годин на гектар. В той же час, найбільший відсоток пошкоджень бульби картоплі отримують саме при збиранні засобами механізації. Так, проведені рядом вчених дослідження вказують на те, що при збиранні картоплі картоплезбиральними комбайнами, близько 20 % від валового збору бульб травмуються,

тобто травмується кожна п'ята бульба. Як відомо, механічні пошкодження бульб картоплі приводять до її втрат при зберіганні (Hrushetskyi, 2016; Vasyliuk, 2013; Bulhakov, 2012).

Другим джерелом втрат картоплі є не викопані та не підняті на поверхню бульби. У залежності від способу садіння, сорту картоплі, використання картоплезбиральної техніки і т. ін. відсоток втрат може значно різнитися і знаходитись в межах від 5 % до 16 %.

Таким чином, тільки при збиранні картоплі із застосуванням засобів механізації відсоток втрат бульб може доходити до 30 % від загального об'єму вирощеної товарної картоплі.

Вирішенням проблем по зменшенню втрат картоплі за рахунок її травмування займалися як вітчизняні вчені, так і зарубіжні: В. Вітенко, Н. Буняк, В. Куценко, М. Влащенко, Р. Лавров, Є. Ходаківський, Т. Приймачук, В. Положенець, Н. Вождай, Л. Мех, А. Бондарчук, В. Кононунченко, О. Асафразбекян, Н. І. Верещагін, Burton, Hine, Nilson та ін. (Zaika, 2017; Kobets et al., 2014; Buniak, 2012).

Проблемами по зменшенню механічних пошкоджень бульб картоплі при її збиранні займалися такі вчені, як: Е. Аглухих, О. Асафразбекян, Н. Верещагін, С. Грушецький, Б. Козаченко, В. Пастухов та ряд інших дослідників (Hrushetskyi, 2016; Vasyliuk, 2013; Bulhakov, 2012).

Слід зазначити, що проведені дослідження вище зазначеними науковцями не розкривають у повній мірі вирішення проблеми втрат бульб картоплі при її збиранні саме у агропідприємствах малих форм господарювання.

#### **Постановка проблеми та шляхи її вирішення.**

При збиранні картоплі на важких та середньоважких ґрунтах, а також засмічених бур'янистою рослинністю, питомий опір підрізання бульбоносного шару є досить значним і може в 1,5–2 рази перевищувати питомий опір при роботі агрегатів на легких і не забур'янистих ґрунтах. Також, треба зазначити, що на опір підрізання бульбоносного шару ґрунту значно впливає його вологість.

Крім збільшення питомого опору копанню картоплі йде нерівний відрив шару ґрунту, що в деяких випадках спричиняє «втягування» картоплі з рядка та пошкодження її боковими гранями робочих органів, особливо при використанні коритоподібних лемішів. Крім указаних функцій, дані дискові ножі забезпечать зрізання бокових пагонів бадилля картоплі, яке при попередньому скошуванні перед збиранням через вилягання може мати довжину до 20 см.

Вирішення даної проблеми можливе, на нашу думку, за рахунок застосування дискових ножів, які установлюватимуться спереду леміша на рівні його бокових граней. За рахунок установки дискових ножів знизиться тяговий опір картоплекопача за рахунок поздовжнього розрізання шару ґрунту в напруженому стані (розтягнутому стані), підвищиться якість копання картоплі – зменшиться кількість грудок, пошкоджених бульб, забезпечиться рівномірність ходу копача, покращиться якість просіювання ґрунту на сепаруючих органах картоплекопача.

**Матеріали і методи досліджень.** В дослідженнях використовувались картоплекопачі.

Загальна методика досліджень передбачала визначення впливу на якість викопування картоплі удосконаленого картоплекопача при конкретних умовах, експериментальну перевірку в польових умовах, а також визначення ефективності викопування бульб.

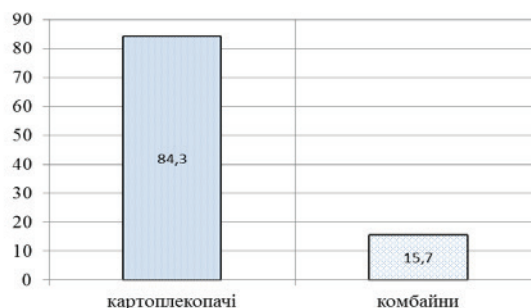
Аналітичні та експериментальні методи досліджень виконувались на основі загальноприйнятих методик із використанням вимірювальної апаратури, а також за допомогою застосування чисельних методів та застосування теорії планування багатофакторного експерименту.

Для обробки експериментальних результатів досліджень застосовані основні методи математичної статистики, теоретико-емпіричний, теорії міцності, графічний, порівняльний, кінцевих елементів. Експериментальні

дані опрацьовували за допомогою прикладних програмних пакетів Microsoft Excel, SOLIDWORKS, STATISTICA 6.

**Результати досліджень.** Забезпечення повної механізації технологічного процесу збирання картоплі можливе лише при одночасному виконанні операцій по підкопуванню бульб, відділенню бадилля картоплі, бур'янів та ґрунту, виконанні вивантаження картоплі в транспортний засіб. Одночасне виконання даних операцій забезпечується тільки сучасними, високопродуктивними комбайнами, які розраховані на великі площі і ефективні при довжині гонів, що вимірюються сотнями метрів. Такі технічні засоби збирання картоплі доцільні при застосуванні у великих сільськогосподарських підприємствах з відведеними площами під картоплю – 100 і більше гектарів (Hrushetskyi, 2016; Semyrnenko & Semyrnenko, 2022).

Для агропідприємств малих форм господарювання площі під картоплею становлять, як правило, від одного до десяти гектар. Так, зі статистичними даними, за останні три роки середні площі під картоплею у підприємствах вказаної форми господарювання становили 2,1 гектара. Використання комбайнової технології збирання картоплі на даних площах недоцільно ні з технічної, ні з економічної точки зору. Не менш важливим фактором неможливості використання комбайнової технології збирання картоплі є відсутність тракторів необхідного для агрегування комбайнів тягового класу. А в значній частині господарств – взагалі відсутність тракторів (застосовується мотоблочна технологія вирощування та збирання картоплі). Тому, в даних агропідприємствах основну частину парку техніки для механізованого збирання бульб картоплі складають картоплекопачі (рис. 1).



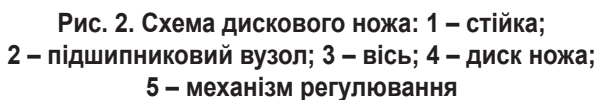
**Рис. 1. Розподіл технічних засобів для збирання картоплі в агропідприємствах малих форм господарювання**

Нині картоплекопачі, що використовуються в агропідприємствах малих форм господарювання, за характером технологічного процесу поділяються на три типи (Hrushetskyi, 2016; Zaika, 2017; Nevko, 2016):

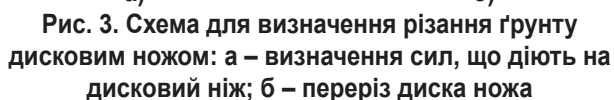
- 1) картоплекопачі, що порушують зв'язок кущів картоплі з ґрунтом і підіймають бульби картоплі на поверхню поля;
- 2) картоплекопачі роторні – підкопують кущі картоплі та розкидають шар ґрунту та бульби перпендикулярно до рядка;
- 3) картоплекопачі просіваючі – підкопують кущі картоплі та направляють підкопану масу на сепаруючі органи.



На рис. 2 наведена схема пропонованого дискового ножа для установлення на картоплекопач.



На рисунку 2 наведено схему В. П. Горячікіна для визначення різання ґрунту дисковим ножом (Zaika, 2017). Приймаємо, що диск має товщину  $b$ , заглиблений до середини і котиться без ковзання навколо точки  $O$  (рис. 3). Тоді опір  $K$  кожного елементарного клина  $AB$  по довжині  $Rd\varphi$ , де  $R$  – радіус диска, який направлений в точку  $D$  перпендикулярно до відрізка  $OA$ .



В таблиці 1 наведені польові випробування картопле-  
копача КА-1 з дисковими ножами

| №<br>з/п | Показники                              | Значення         |
|----------|----------------------------------------|------------------|
| 1        | Агрегат                                | Т-25Ф + КА-1     |
| 2        | Сорт картоплі                          | «Анатан»         |
| 3        | Врожайність                            | 200 ц/га         |
| 4        | Тип ґрунтів                            | Дерно-підзолисті |
| 5        | Ухил поля                              | 2°               |
| 6        | Вологість ґрунту                       | 20%              |
| 7        | Твердість ґрунту на глибині<br>копання | 1,82 МПа         |
| 8        | Висота гребнів                         | 18-20 см         |

| № з/п | Показник                                                                                             | Значення            |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1     | Повнота викопування бульб:<br>- піднято на поверхню<br>- залишено в ґрунті<br>- залишено на поверхні | 100 %<br>1 %<br>2 % |
| 2     | Число пошкоджених бульб на 100 штук                                                                  | 5                   |

Основним недоліком даного виду картоплекопачів є та особливість в роботі, що при підкопуванні шару бульбоносного ґрунту лемішем проходить розвалювання

Технічна характеристика картоплекопача КУ-1 (Невко, 2016)

| Показник                      | Значення                  |
|-------------------------------|---------------------------|
| Тип копача                    | Однорядний транспортерний |
| Потужність трактора           | 18 – 30 к. с              |
| Продуктивність                | 0,22 га/зміну             |
| Тип приводу                   | ВОМ, через редуктор       |
| Кількість рядків підкопування | 1                         |
| Тип транспортера              | Металевий зі стрічкою     |
| Ширина ножа                   | 48 см                     |
| Ширина транспортера           | 50 см                     |
| Глибина копання максимальна   | 24 см                     |
| Габаритні розміри ДхШхВ, мм   | 1600х900х950              |
| Вага                          | 125 кг                    |

пласта із значним відсотком втрат картоплі. Це приводить до не ефективного використання агрегату, зниження якості збирання та збільшення тягового опору картоплекопача. Крім того, через забивання робочих органів ворохом, що захоплюється боковими гранями леміша виникає необхідність в частих зупинках агрегату для чищення робочих органів, що приводить до зниження продуктивності картоплекопача та збільшення витрат праці на виконання даної операції.

Для подолання даних проблем нами було встановлено по обидві сторони від леміша дискові ножі. Місце установки дискових ножів показано на схемі перерізу рядка картоплі (рис. 4).

За рахунок дискових ножів буде забезпечено підвищення якості підкопування картоплі. Стінка борозни буде рівно обрізаною, не буде випадання ґрунту з бульбами за бокові грані леміша. Крім того, не будуть забиватися ворохом (остатками зрізаного бадилля) робочі органи, забезпечиться краща прямолінійність руху картоплекопача.

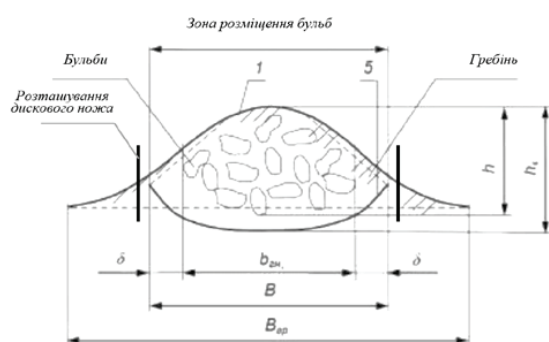


Рис. 4. Схема перерізу рядка картоплі:  $B_{гр}$  – ширина гребня;  $B$  – ширина захвату леміша;  $b_{зн}$  – ширина бульбоносного шару;  $\delta$  – можливе відхилення рядка від прямолінійності;  $h$  – глибина залягання бульб картоплі;  $h_n$  – глибина ходу леміша

Перші дослідження були направлені на визначення установки осей дискових ножів відносно носка леміша. Відносно бокової грані леміша дискові ножі встановлювалися максимально близько до неї. Конструктивно це виконувалося на відстані 10 мм від

бокових граней назовні. Місце установки дискового ножа визначалося по якості виконання операції викопування картоплі. За нульове значення було взято співпадіння осі дискових ножів із носком леміша картоплекопача (рис. 5). Найбільше значення зміщення було взяте 100 мм. Крок зміщення осі при проведенні досліджень становив 25 мм.

Під час досліджень роботи картоплекопача було виявлено, що при русі картоплекопача перед його лемішем проходить спучування та розтягування шару ґрунту. При цьому встановлено, що зона найбільшого напруження знаходиться за носком леміша. Виходячи з цього, дискові ножі доцільно встановлювати за носком леміша, щоб середня частина дискових ножів розрізала шар ґрунту у найбільш напруженому місці. При виконанні процесу різання шару ґрунту дисковими ножами за рахунок дії сили, що розтягує, шар ґрунту зміщується від леза. Було виявлено, що кут заточки леза дискових ножів не має суттєвого впливу на різання скиби ґрунту – з ґрунтом постійно взаємодіє кромка ножа.

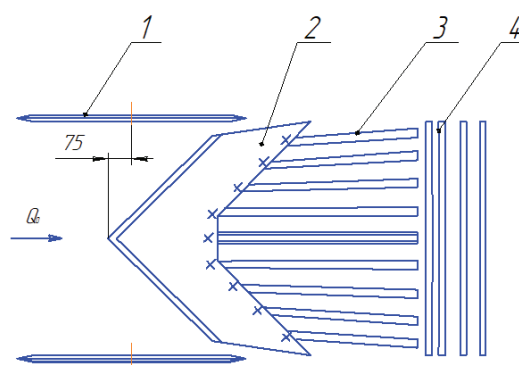


Рис. 5. Схема картоплекопача з установкою дискових ножів: 1 – дискові ножі; 2 – леміш; 3 – відкидні пальці; 4 – прутковий сепаратор;  $Q_0$  – подача бульбоносного шару

Дослідження проводилися шляхом переміщення дискових ножів після кожного випробування на 25 мм (крок установки – 25 мм).

При кожному положенні дискових ножів проводилось викопування рядка на довжині 20 м.

Якісними показниками були: повнота викопування бульб картоплі та відсоток пошкодження. На рисунку 6 приведені графічне зображення результатів даних досліджень.

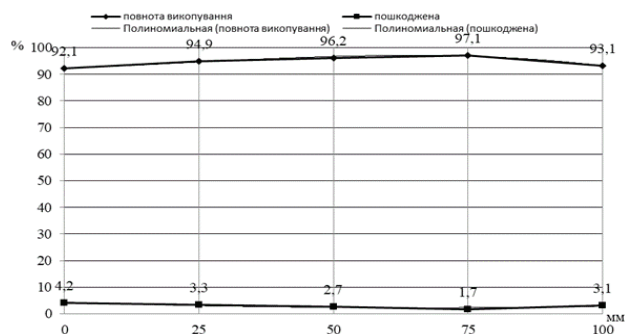


Рис. 6. Залежність якості викопування бульб від установки дискових ножів

Вплив місця установки дискових ножів ( $l_0$ ) відносно носка леміша картоплекопача на повноту викопування бульб картоплі (В) можна визначити за допомогою наступного рівняння:

$$B = -0,2833l_0^3 + 1,55l_0^2 - 0,2667l_0 + 91,18 \quad (4)$$

Вплив місця установки дискових ножів ( $l_0$ ) відносно носка леміша картоплекопача на пошкодження бульб картоплі (П) визначається наступним виразом:

$$P = 0,3l_0^2 - 2,18l_0 + 6,24 \quad (5)$$

Аналізуючи дані досліджень, що наведені на рис. 6, можна зробити висновок, що при установці осі дискових ножів без зміщення відносно носка леміша показники якості роботи картоплекопача КУ-1 погіршуються у порівнянні з роботою без ножів. Це пояснюється тим, що винесені вперед дискові ножі не забезпечують підтримання пласта, що піднімається лемішем, а також, за рахунок початку різання перед підняттям шару лемішем появляється нестабільність їх роботи – не співпадіння перпендикулярності між віссю дискових ножів та поздовжньою віссю картоплекопача.

Найкращі якісні показники роботи даного картоплекопача були при зміщенні осі дисків відносно носка леміша на 75 мм. При такій установці дискових ножів загальні втрати бульб картоплі у порівнянні із базовою моделлю картоплекопача КА-1 зменшились на 5,5 %, тобто це забезпечує збільшення врожайності на 11,0 ц/га.

Наступні дослідження направлені на визначення глибини ходу дискових ножів (рис. 7).

Враховуючи глибину ходу леміша при виконанні досліджень 200–220 мм, задаємось діапазоном глибини ходу дискових ножів. Вважаємо, що дискові ножі можуть заглублюватися в шар ґрунту на глибину ходу леміша  $\pm 20$  мм по аналогії із лемішними плугами загального призначення.

Дослідження проводили з урахуванням зазначених показників із кроком 10 мм. За середню глибину ходу леміша було взято 210 мм.

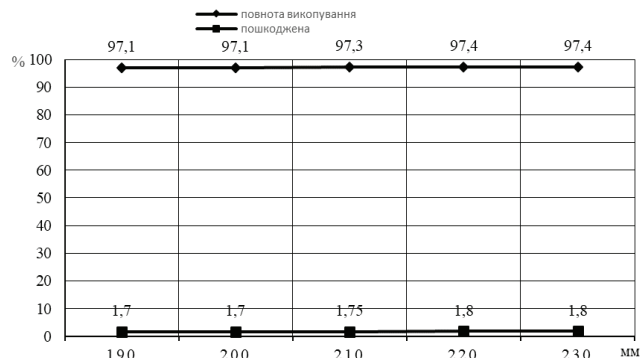


Рис. 7. Залежність якості викопування бульб від глибини ходу дискових ножів

Вплив глибини установки дискових ножів ( $h_0$ ) на повноту викопування бульб картоплі (В) можна визначити за допомогою наступного рівняння:

$$B = -0,025h_0^3 + 0,2179h_0^2 - 0,4571h_0 + 97,36 \quad (6)$$

Вплив глибини установки дискових ножів ( $h_0$ ) на пошкодження бульб картоплі (П) визначається наступним виразом:

$$P = -0,0083h_0^3 + 0,075h_0^2 - 0,1667h_0 + 1,8 \quad (7)$$

В результаті проведених досліджень було виявлено, що в діапазоні глибин ходу леміша – від 190 мм до 230 мм якісні показники роботи агрегату залишалися не змінними. Тому, враховуючи той факт, що із збільшенням глибини ходу дискових ножів опір агрегату збільшується, було прийнято, що глибина ходу дискових ножів на 20 мм менша глибини ходу леміша картоплекопача, і в нашому випадку прийнята за раціональну 190 мм. Цей показник забезпечує ефективну роботу картоплекопача – в момент підрізання шару ґрунту дисковими ножами за рахунок роботи леміша він знаходиться в напруженому стані і його відділення від загального масиву проходить нижче глибини ходу дискових ножів.

**Обговорення.** Проведений аналіз наукових публікацій вказує значний відсоток втрат картоплі при її збиранні картоплезбиральними комбайнами, а особливо, картоплекопачами (Hrushetskyi, 2016; Vasyliuk, 2013; Bulhakov, 2012; Zaika, 2017; Kobets et al., 2014; Buniak, 2012; Semyrnenko & Semyrnenko, 2022). Дослідження показали, що саме в агропідприємствах малих форм господарювання найчастіше для збирання бульб картоплі застосовуються картоплекопачі.

На основі проведених досліджень по зменшенню втрат при збиранні бульб картоплі проведено удосконалення картоплекопача.

Таким чином, використання даного удосконаленого картоплекопача забезпечить зменшення втрат бульб картоплі на 5,5 %.

**Висновки.** Виконаний аналіз технічних засобів для збирання бульб картоплі в агропідприємствах малих форм господарювання показав, що основними машинами для викопування картоплі є картоплекопачі – 84,3 %. Проведені теоретичні дослідження по визначенню раціонального діаметру дискових ножів та

визначені раціональні параметри установки дискових ножів при заданих умовах роботи. Найкращі якісні показники роботи картоплекопача були при зміщенні осі дисків відносно носка леміша на 75 мм. Визначено раціональну

глибину ходу дискових ножів – 190 мм. При вказаних параметрах установки дискових ножів, загальні втрати бульб картоплі у порівнянні із базовою моделлю картоплекопача КА-1 зменшились на 5,5 %.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Bulhakov, V. (2012). Suchasnyi stan vyrobnytstva kartopli ta perspektyvy rozrobky kartoplezbyrnykh mashyn [The current state of potato production and prospects for the development of potato harvesting machines] Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. – Vinnytsia: VNAU, No 11. 1 (65), 103–109 (in Ukrainian).
2. Buniak M. N. (2012). Ekonomichna efektyvnist vyrobnytstva ta realizatsii kartopli [Economic efficiency of potato production and sales] Visnyk ahrarnoi nauky. Liutyi, 73 – 75 (in Ukrainian).
3. Hevko, R. B., Synii, S. V., Hundzyk, O. V. (2016). Pidvyshchennia tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv mashyn dlia zbyrannia kartopli [Improving the technical and economic performance of potato harvesting machines] Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky. Vol. 1. No 1, 39-49 (in Ukrainian).
4. Hrushetskyi, S. M. (2016). Analiz suchasnykh tekhnolohii vyroshchuvannia i zbyrannia kartopli [Analysis of modern technologies of growing and harvesting potatoes] Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnogo ahrarno-tekhnichnoho universytetu. Tekhnichni nauky. 24 (2), 55-64 (in Ukrainian).
5. Kobets, A. S., Derkach, O. D., Rolduhin, M. I., Yatsuk, V. M., Kukharenko, P. M., Puhach, A. M. (2014). Mekhanizatsiia vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur v Ukraini [Mechanization of growing crops in Ukraine] Dnipropetrovskyi derzhavnyi ahrarno-ekonomichnyi universytet – Dnipropetrovsk, 285 p. (in Ukrainian).
6. Semyrnenko, Yu. I., & Semyrnenko, S. L. (2022). Rozrobka tekhnolohichnoho protsesu vydalennia badyllia kartopli z tekhnolohiieiu vyrobnytstva motoblokiv [Development of a technological process for removing potato tops with motor block production technology] Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv, 1(47), 36-42 (in Ukrainian) <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.1.6>
7. Synii, S. V., Hevko, R. B., Osukhovskiy, V. M. (2012). Novyi malohabarytnyi kombain dlia zbyrannia kartopli [New small-sized harvester for harvesting potatoes] Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy Kyiv: Vyp. 3-4, 72-76. (Napriamok: Inzhenerni problemy ahropromyslovoho kompleksu) (in Ukrainian).
8. Vasyliuk, V.I. (2013). Perspektyvy vyrobnytstva kartopli [Prospects for potato production] Naukovi visnyk Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu. Vyp. 3. Tom 1, 197–207 (in Ukrainian).
9. Zaika, P.M. (2017). Teoriia silskohospodarskykh mashyn. [Theory of agricultural machines] (1, chastyna 2), Mashyny dlia sivby ta sadinnia. Kharkiv: Oho. 145 p. (in Ukrainian).

**Semirnenko S. L., PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine**

**Semirnenko Yu. I., PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine**

#### **Improvement of the technological process of potato harvesting in the conditions of agricultural enterprises of small forms of management**

*The harvesting of potatoes poses a substantial challenge for agricultural enterprises, particularly those of smaller scale, as it accounts for a significant portion of labour costs, constituting approximately 60% in such settings. This process also entails considerable energy expenditures.*

*Mechanized harvesting, while efficient, contributes to a noteworthy percentage of damage to potato tubers. Studies reveal that approximately 20% of the gross tuber collection is subjected to injury during mechanized harvesting, subsequently leading to losses in storage.*

*Another source of losses during mechanized harvesting stems from tubers that remain unexcavated and fail to surface. Depending on various factors, the percentage of tuber losses can fluctuate between 5% and 16%.*

*Based on statistics spanning the last three years, it is evident that small-scale agricultural enterprises typically cultivate potato crops within a range of one to ten hectares. Consequently, the application of combine technology for potato harvesting within these enterprises is deemed impractical, both from a technical and economic standpoint. The unsuitability of combine technology stems not only due to the absence of tractors equipped with the required traction class for integrating with potato harvesters, but also because many of these farms commonly rely on tillers of various capacities instead of tractors. Consequently, it is customary for such agricultural enterprises to employ potato diggers as the preferred method for harvesting potato tubers.*

*This article scrutinizes the technical aspects of potato tuber harvesting in small-scale agricultural enterprises, focusing on their distribution within the technological process. Theoretical investigations have been conducted to determine the optimal diameter of disk knives. Additionally, studies explored the impact of the disk knives' axis location relative to the toe of the ploughshare on the qualitative aspects of the potato digger's performance. The research identified the rational departure of the disk knives' axis in relation to the ploughshare toe. Furthermore, the depth of travel of the disk knives was examined to ascertain its influence on the unit's quality indicators, resulting in the determination of the optimal depth. The article concludes by quantifying the reduction in potato tuber losses achieved through the utilization of a potato digger equipped with the proposed disk knives and their specified parameters.*

**Key words:** potatoes, technology, harvesting, research, digging, disc knives, potato digger, losses.



## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ

**Тарельник Наталія В'ячеславівна**

кандидат економічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-6304-6925

natasha-tarelnik@ukr.net

**Думанчук Михайло Юрійович**

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-3559-4729

mykhailo.dumanchuk@snau.edu.ua

**Майфат Микола Миколайович**

PhD студент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0009-0004-0563-929X

mayfat\_snau@ukr.net

**Доценко Артем Олексійович**

PhD студент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0009-0000-7230-9435

a.dotsenko.olivija@gmail.com

*У роботі звернено увагу на те, що на зносостійкість деталей впливають умови їх роботи та параметри матеріалу, такі як твердість і мікроструктура, а також параметри якості їх поверхневих шарів, якими, завдяки існуючій гаммі технологічних методів можна управляти. Дійсний термін роботи обладнання залежить від несучої здатності поверхневого шару деталей, яка визначається його якістю. Доведено, що роботи, які пов'язують параметри основного матеріалу деталі та параметри якості їх поверхневих шарів з стійкістю проти зносу актуальні та своєчасні. Метою роботи є підвищення надійності і довговічності деталей машин, працюючих в умовах гідроабразивного зношування, шляхом розробки системного підходу до вибору технологій управління параметрами якості поверхневих шарів їх деталей.*

*Методологія спрямованого вибору технології підвищення якості поверхневих шарів виробів охоплює весь його життєвий цикл, що включає: матеріал виробу та його елементів, технологію виготовлення виробу та його елементів, технологію ремонту та відновлення працездатності та ін. Всі вони розглядаються через спеціальні методи спрямованого вибору про який згадувалося вище. При цьому необхідно враховувати вплив методів, що обираються один на одного, що в кінцевому підсумку буде позначатися на якості виробу. У цій інтерпретації і простежується сам метод системного аналізу.*

*Авторами на підставі теоретичних досліджень удосконалена взаємозалежність інформаційної сфери, яка складається з науково-технічної підготовки виробництва: конструкторської, технологічної, організаційної та науково дослідної роботи та матеріальної сфери, що включає: виробництво, експлуатацію, ремонт та утилізацію. Також розроблено систему спрямованого вибору екологічно безпечної технології управління параметрами якості поверхневих шарів деталей машин, що працюють в умовах гідроабразивного зношування. Відмічено, що при необхідності вирішення оптимізаційних завдань, пов'язаних з вибором екологічно безпечної технології управління параметрами якості поверхневих шарів деталей машин, що працюють в умовах гідроабразивного зношування, значно зростає роль інформаційної сфери, яка складається з результатів пізнання, що виражаються в законах, теоріях, наукових гіпотезах. Завдяки інформаційній сфері створюються і набувають відносної самостійності такі форми та засоби, як ідея, проблема, гіпотеза, концепція, закон, теорія.*

**Ключові слова:** гідроабразивний знос, зносостійкість, надійність, довговічність, спрямований вибір, експлуатація, ремонт, утилізація.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.12>

**Вступ.** Ерозійне та гідроабразивне зношування є дуже інтенсивними процесами зношування поверхневих шарів металевих відповідальних деталей

обладнання що використовують в тепловій та атомній енергетиці, в нафто-газодобувній, нафтохімічній промисловості тощо. На функціональній поверхні відкритих

частин машини відбуваються постійні процеси зношування, причиною яких є взаємодія твердих, традиційно мінеральних частинок, що переносяться потоком газу чи рідини, і поверхні деталі машини. В результаті поступово погіршуються її робочі параметри, знижують ККД.

На зносостійкість деталей впливають умови їх роботи та параметри матеріалу, такі як твердість і мікроструктура, а також параметри якості їх поверхневих шарів, якими, завдяки існуючій гаммі технологічних методів можна управляти. Дійсний термін роботи обладнання залежить від несучої здатності поверхневого шару деталей, яка визначається його якістю. Роботи, що пов'язують параметри основного матеріалу деталі та параметри якості їх поверхневих шарів з стійкістю проти зносу актуальні та своєчасні.

**Постановка проблеми.** Згідно (Lipuch L.H. & Helich N.V., 2010) категорія «якість» дуже складна та багатогранна з погляду різних її аспектів, тому вона вимагає точного формулювання. Завдяки тому, що для якісного забезпечення конкурентоспроможності машинобудівної продукції виробництва мають бути зорієнтованими на потреби споживачів і на сьогодні, і на майбутнє, слід посылатися на визначення поняття якості, яке визначила Міжнародна організація зі стандартизації. Стандарт ISO 8402-86 формулює якість, як «сукупність властивостей і характеристик продукції чи послуг, що надають їм спроможність задовольняти обумовлені або передбачувані потреби» (Standart 8402-86, 1986).

ДСТУ ISO 9000 – 2001 якість трактує як «ступінь, до якого сукупність власних характеристик задовольняє вимоги» (DSTU ISO 9000-2001, 2001).

Системний підхід є певним етапом у розвитку методів пізнання, методів дослідницької та конструкторської діяльності, способів опису та пояснення природи аналізованих або штучно створюваних об'єктів. Системний підхід – один з спеціальних способів наукового дослідження, за яким досліджуваний об'єкт розчленовують на елементи, що їх розглядають в єдності, тобто як систему (Nemchenko A.B. & Niraz I.V., 2010). Це методологічний напрям у науці, основне завдання якого полягає у розробці методів дослідження та конструювання складно організованих об'єктів – систем різних типів і класів, що широко використовується в цій роботі, є теоретичною та методологічною основою системного аналізу.

Згідно (Stechenko D.M. & Chmyr O.S., 2007) системний аналіз – це методологія теорії систем, що полягає в дослідженні будь-яких об'єктів, що представляються в якості систем, проведенні їх структуризації і подальшого аналізу. Головна особливість системного аналізу полягає в тому, що він включає в себе не тільки методи аналізу (від грец. *analysis* – розчленування об'єкта на елементи), а й методи синтезу (від грец. *synthesis* – з'єднання елементів в єдине ціле).

Головною метою системного аналізу є виявлення і усунення невизначеності при вирішенні складної проблеми на основі пошуку найкращого рішення з існуючих альтернатив. Системний аналіз включає низку інших, підпорядкованих йому методів, які функціонують у його рамках. Один з них це метод спрямованого вибору, який

є сукупністю спеціальних методів дослідження, з якої в тому чи іншому випадку вибирається найбільш адекватний з них.

Стосовно дослідження якості поверхневих шарів виробів (структури, шорсткості, мікротвердості, товщини зміцненого шару або нанесеного покриття, його суцільності, наявності залишкових напружень тощо) цей метод може мати конкретний вираз.

До методів пізнання відноситься і синтез. Аналіз і синтез виступають як плідні методи пізнання лише тоді, коли вони використовуються в тісній єдності. Для того щоб став можливим аналіз тієї або іншої речі, вона повинна бути зафіксована в нашій свідомості як деяке ціле, тобто попередньою умовою аналізу є цілісне, систематичне її сприйняття. І, навпаки, синтез можливий тоді, коли здійснений аналіз, коли виділені ті або інші сторони й елементи деякого цілого. Отже, синтез являє собою з'єднання отриманих при аналізі частин у єдине ціле (Hrabchenko A.I. et al., 2009).

**Метою роботи** є підвищення надійності і довговічності деталей машин, працюючих в умовах гідроабразивного зношування, шляхом розробки системного підходу до вибору технологій управління параметрами якості поверхневих шарів їх деталей.

**Методи і обговорення результатів.** Методологія спрямованого вибору технології підвищення якості поверхневих шарів виробів охоплює весь його життєвий цикл, що включає: матеріал виробу та його елементів, технологію виготовлення виробу та його елементів, технологію ремонту та відновлення працездатності та ін. Всі вони розглядаються через спеціальні методи спрямованого вибору про який згадувалося вище. При цьому необхідно враховувати вплив методів, що обираються один на одного, що в кінцевому підсумку буде позначатися на якості виробу. У цій інтерпретації і простежується сам метод системного аналізу.

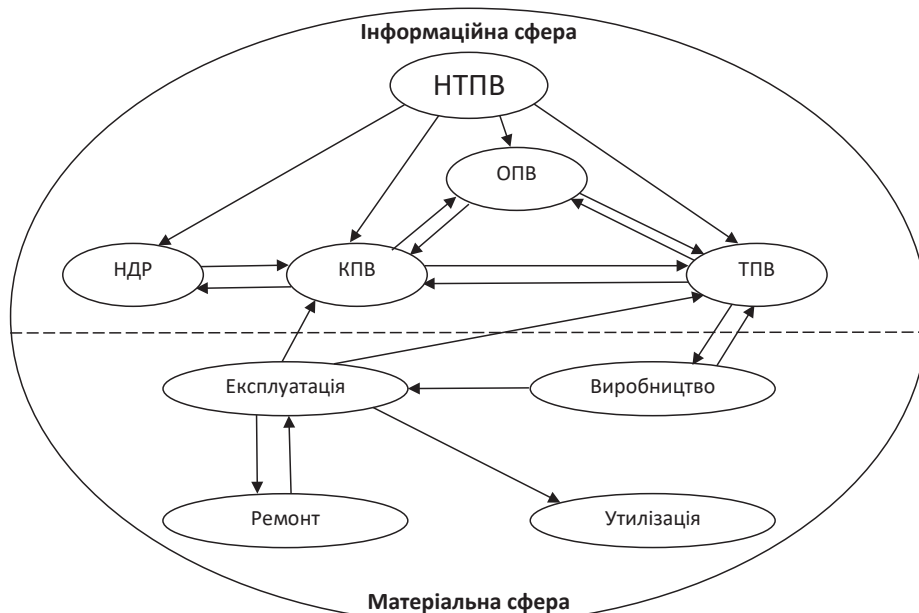
Сукупність проблем та питань, пов'язаних з розробкою технології управління якістю робочих поверхонь виробів, визначають предметну галузь методології у цьому дослідженні.

З погляду системного підходу можна виділити дві сфери існування виробу: інформаційну та матеріальну (рис. 1).

Останнім часом з огляду на необхідність вирішення оптимізаційних завдань значно зростає роль інформаційної сфери, яка складається з результатів пізнання, що виражаються в законах, теоріях, наукових гіпотезах. Завдяки інформаційній сфері створюються і набувають відносної самостійності такі форми та засоби, як ідея, проблема, гіпотеза, концепція, закон, теорія.

Згідно (Stechenko D.M. & Chmyr O.S., 2007) ідея відображає зв'язки та закономірності дійсності й спрямована на її перетворення, а також поєднує істинне знання про дійсність і суб'єктивну мету її перетворення.

Наукова ідея представляє собою інтуїтивне пояснення явища без проміжної аргументації, без усвідомлення всієї сукупності зв'язків, на основі яких робиться висновок. Вона базується на набутих знаннях і розкриває раніше не виявлені закономірності. Свою специфічну



**Рис. 1. Взаємозалежність інформаційної та матеріальної сфер створення та існування виробів (НТПВ – науково-технічна підготовка виробництва; КПВ – конструкторська підготовка виробництва; ТПВ – технологічна підготовка виробництва, ОПВ – організаційна підготовка виробництва; НДР – науково-дослідна робота)**

матеріальність ідея знаходить у гіпотезі. В свою чергу гіпотеза – це форма та засіб наукового пізнання, за допомогою яких формується один з можливих варіантів розв’язання проблеми, істинність якої ще не з’ясована і не доведена. Якщо гіпотеза узгоджується з фактами, що спостерігаються, то в науці її називають теорією або законом (Kovalchuk V.V. & Moiseiev L.M., 2004).

Відсутність виявлених закономірностей формування необхідної якості поверхневого шару деталі потребує проведення необхідних і значних експериментальних досліджень для того, щоб здійснити правильний цілеспрямований вибір оптимального технологічного процесу ще до його запуску у виробництво.

Науково-технічна підготовка виробництва (НТПВ) складається з комплексу технічних, організаційних та економічних заходів щодо проєктування і вдосконалення конструкції виробів і технології їх виготовлення, а також щодо вдосконалення методів організації виробництва та підвищення технічного рівня підприємства. Вона включає наступні стадії:

- проєктування і вдосконалення конструкцій виробів – конструкторську підготовку виробництва (КПВ);
- проєктування і вдосконалення технологічних процесів – технологічну підготовку виробництва (ТПВ);
- забезпечення виробництва обладнанням, виробничими майданчиками, матеріалами, підготовленими кадрами тощо – організаційну підготовку виробництва (ОПВ).

В ході проведення КПВ визначають вид, розміри, матеріал деталей, взаємне розміщення деталей і вузлів; способи з’єднання, загальні технічні умови, а також виготовляють комплект конструкторської документації, а у процесі ТПВ визначають послідовність і методи

обробки, складання, монтажу, регулювання і технічного контролю деталей, вузлів і виробів.

НТПВ через розробку та використання нових технологій, через виявлення закономірності ходу виробничих процесів впливає на КПВ та ТПВ.

При відпрацюванні виробів на технологічність з урахуванням стадій їхнього життєвого циклу відбувається коригування властивостей виробів або підбирається більш раціональна технологія їх виготовлення. Залежно від технологічної раціональності конструкції виробу можуть суттєво змінюватися економічні, енергетичні, екологічні та інші показники виробництва, а також якісні показники виробів.

З часом характеристики виробу, як конструкційні, так і технологічні, отримані ще на стадії виробництва, як правило, виявляються у сфері експлуатації. При цьому, по мірі морального старіння виробів, до них пред’являються дедалі все вищі і більш різнобічні вимоги. Це спричиняє необхідність зміни як конструкції виробів, так і технології їх виготовлення. Постійне підвищення вимог до виробів вимагає нових досліджень та подальшого просування НТПВ.

Дуже вагомою ланкою для матеріалізації цих наукових досліджень є науково-дослідна розробка (НДР), яка спрямована на створення певного виду виробів і технологічних процесів, на перевірку принципово нових технічних рішень на експериментальних зразках у лабораторних умовах. Наступним етапом підготовки до реалізації нововведень є дослідно – конструкторська розробка, яка передбачає доведення результатів НДР до умов промислового освоєння і включає виконання проєктної та робочої документації, дослідну перевірку впроваджуваних технічних рішень у галузі техніки, технології

та організації виробництва. На підприємстві ці процеси називають технічною підготовкою виробництва.

Експлуатація тісно пов'язана з ремонтом виробів. Від правильності експлуатації залежить кількість та терміни ремонтів. Якість виконаного ремонту визначає тривалість експлуатації виробу до наступного ремонту або утилізації. В дійсний час, при виконанні ремонтних робіт, пов'язаних з відновленням зношених поверхневих шарів виробів, використовуються нові, ефективні і екологічно безпечні технології, завдяки яким новий відновлений шар, при подальшій експлуатації, значно довговічніше чим зношений.

Останньою стадією існування виробу є його утилізація. Нині ще не розроблені ефективні технології утилізації відходів промислових виробництв.

Необхідність використання системного підходу під час проведення досліджень потребує аналізу доцільного використання методології спрямованого вибору технологій досягнення заданої якості поверхневих шарів виробів на усіх стадіях їх життєвого циклу (рис. 2).

На етапі конструкторської підготовки виробництва, при проєктуванні виробів, що виконують ті чи інші функції, важливо знати методи, використання яких може забезпечити необхідні характеристики поверхні та відповідно призначити їй якісні показники (технологічна раціональність конструкції). Як показує практика виробництва таких методів, може бути багато.

На етапах технологічної підготовки виробництва знання методології управління якістю поверхневих шарів деталей машин дозволяє планувати раціональну технологію одержання заданих властивостей.

Використовуючи результати наукових досліджень, що плануються в даній роботі, з'явиться можливість проєктувати вибір раціонального способу отримання заготовок деталей. Можливо вони будуть виготовлятися з менш дешевих матеріалів, з меншими припусками на обробку тощо. Не виключена можливість раціональнішого застосування термічної обробки заготовок, скорочення числа та тривалості окремих її етапів.

Знаючи закономірності управління якістю поверхневого шару, після механічної обробки з'являється можливість вибрати методи механічної обробки, які будуть найбільш придатними та економічно обґрунтованими.

Отримані результати досліджень також необхідно знати під час планування та здійснення складального процесу, коли для необхідного взаємодіяння деталей в машині необхідно, щоб сполучення їх поверхонь, одна відносно іншої, мало конкретний характер: вільно пересуватися; не повинні рухатись, але повинні складатися і розбиратися; лишатися під час експлуатації нерухомими.

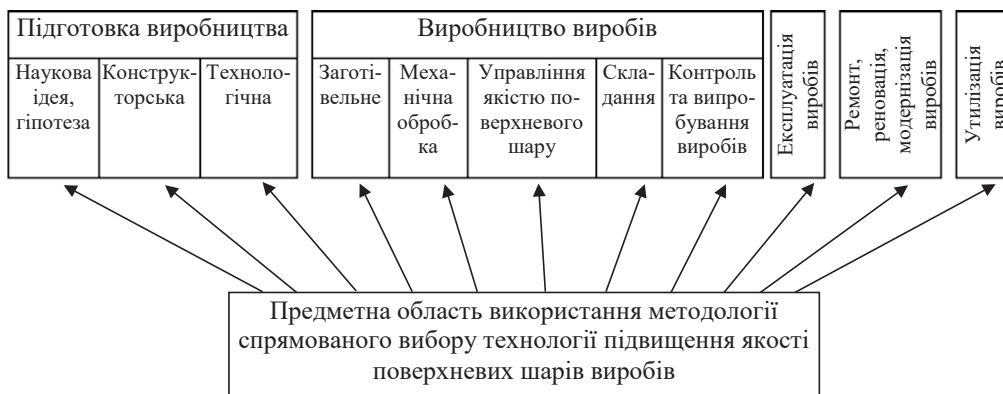
Вибір тих чи інших операцій складання: зварювання, склеювання, паяння, складання з термовпливом тощо залежить від параметрів якості отриманого раніше поверхневого шару. Це викликає необхідність проводити більш глибокий аналіз процесу складання, тому, що на останніх стадіях виробничого процесу остаточно забезпечуються необхідні характеристики машини (виробу).

При формуванні параметрів якості поверхневого шару та необхідних експлуатаційних властивостей (механічних, фізико-хімічних, трибологічних тощо) із заданими характеристиками змінюються методи контролю та випробування виробів. Знаючи якісний склад поверхонь деталей, можна прогнозувати в яких умовах виріб працюватиме краще, в яких гірше і у зв'язку з цим, використовуючи результати, можна керувати процесом раціональної експлуатації виробу.

Використання методології направленої вибору на етапі ремонту виробів дозволяє вирішити проблему, пов'язану з відновленням поверхневих шарів деталей більш дешевими методами. Як свідчить практика, на цьому етапі застосування результатів наукових досліджень забезпечує досягнення значного економічного ефекту.

Витрати на забезпечення екологічної безпеки виготовлення деталей, працюючих в умовах ГЗ, відповідного рівня вносяться в суму загальних витрат. Слід зазначити, що екологічні характеристики методів задіяних

#### Етапи життєвого циклу виробу



**Рис. 2. Використання системи спрямованого вибору технології забезпечення необхідної якості поверхневих шарів деталей, які працюють в умовах гідроабразивного зношування, на різних етапах їх життєвого циклу**



в виробництві деталей можуть бути використані в якості самостійного критерію оптимізації при прийнятті попередньо відібраних економічно доцільних варіантів.

#### **Висновки:**

1. На підставі теоретичних досліджень удосконалена взаємозалежність інформаційної сфери, яка складається з науково-технічної підготовки виробництва: конструкторської, технологічної, організаційної та науково дослідної роботи та матеріальної сфери, що включає: виробництво, експлуатацію, ремонт та утилізацію.

2. Розроблено систему спрямованого вибору екологічно безпечної технології управління параметрами

якості поверхневих шарів деталей машин, що працюють в умовах гідроабразивного зношування.

3. Відмічено, що при необхідності вирішення оптимізаційних завдань, пов'язаних з вибором екологічно безпечної технології управління параметрами якості поверхневих шарів деталей машин, що працюють в умовах гідроабразивного зношування, значно зростає роль інформаційної сфери, яка складається з результатів пізнання, що виражаються в законах, теоріях, наукових гіпотезах. Завдяки інформаційній сфері створюються і набувають відносної самостійності такі форми та засоби, як ідея, проблема, гіпотеза, концепція, закон, теорія.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. DSTU ISO 9000-2001. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk [Quality management systems. Basic provisions and vocabulary] (ISO 9000:2000, IDT) : – [Chynnyi vid 2001-01-10]. – K. : Derzhstandart Ukrainy, 2001. – VI. – 27 p. (in Ukrainian)
2. Hrabchenko A.I., Fedorovych V.O., Harashchenko Ya.M. Metody naukovykh doslidzhen: Navch. posibnyk. [Methods of scientific research: Teaching. manual.] – Kh.: NTU "KhPI", 2009. – 142 c. (in Ukrainian)
3. Kovalchuk V.V., Moiseiev L.M. Osnovy naukovykh doslidzhen: Navch. posib. [Basics of scientific research: Education. manual] – 2-he vyd., pererobl. i dopov. – K. : VD «Profesional», 2004. – 216 c (in Ukrainian)
4. Lipych L. H., Helich N. V. Rozvytok systemy upravlinnia yakistiu produktsii mashynobudivnykh pidpriemstv [Development of the quality management system of machine-building enterprises] : monohrafiia – Lutsk : Volyn. nats. un-t im. Lesi Ukrainky, 2010. – 200 p. ISBN 978-966-600-503-1 (in Ukrainian)
5. Nemchenko A.B., Niraz I.V. Metodolohiia systemnoho pidkhodu v upravlinni orhanizatsiiei [System approach methodology in organization management] – Naukovi zapysky, – KNTU, 2010, vyp.10, chast.I – P. 275-279. (in Ukrainian)
6. Standart 8402–86 Yakist. Slovnyk [Quality. Dictionary] [vvedeno 01.10.1986]. – Kyev: Derzhstandart Ukrainy, 19 Standart ISO 95. – 12 p. (in Ukrainian)
7. Stechenko D. M., Chmyr O. S. Metodolohiia naukovykh doslidzhen [Methodology of scientific research]. – K. : Znannia, 2007. – 317 c (in Ukrainian)

**Tarelnyk N. V.**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Dumanchuk M. Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Maifat M. M.**, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Dotsenko A. O.**, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **A systematic approach to the selection of technologies for controlling the quality parameters of the surface layers of machine parts working in conditions of hydroabrasive wear**

In the actual work, attention is paid to the fact that the wear resistance of parts is affected by their working conditions and material parameters, such as hardness and microstructure, as well as the quality parameters of their surface layers, which can be controlled thanks to the existing range of technological methods. The effective life of the equipment depends on the bearing capacity of the surface layer of the parts, which is determined by its quality. It has been proven that the works that connect the parameters of the main material of the part and the quality parameters of their surface layers with resistance to wear are relevant and timely. The purpose of the work is to increase the reliability and durability of machine parts operating under hydroabrasive wear conditions by developing a systematic approach to the selection of technologies for controlling the quality parameters of the surface layers of their parts.

The methodology of targeted selection of technology for improving the quality of surface layers of products covers its entire life cycle, which includes: the material of the product and its elements, the technology of manufacturing the product and its elements, the technology of repair and restoration of operability, etc. All of them are considered through the special methods of directed selection mentioned above. At the same time, it is necessary to take into account the influence of the chosen methods on each other, which will ultimately affect the quality of the product. The very method of system analysis can be traced in this interpretation.

On the basis of theoretical research, the authors improved the interdependence of the information sphere, which consists of scientific and technical preparation of production: design, technological, organizational and scientific research work, and the material sphere, which includes: production, operation, repair and disposal. A system of targeted selection of an environmentally safe technology for managing the quality parameters of the surface layers of parts of machines operating in conditions of hydroabrasive wear has also been developed. It is noted that when it is necessary to solve optimization tasks related to the choice of an environmentally safe technology for managing the quality parameters of the surface layers of machine parts operating in conditions of hydroabrasive wear, the role of the information sphere, which consists of the results of knowledge expressed in laws, theories, is significantly increasing, scientific hypotheses. Thanks to the information sphere, such forms and means as an idea, problem, hypothesis, concept, law, theory are created and acquire relative independence.

**Key words:** hydroabrasive wear, wear resistance, reliability, durability, targeted selection, operation, repair, disposal.

## УДОСКОНАЛЕННЯ СТРАВ ІЗ БОБОВИХ ДЛЯ ШКІЛЬНОГО ХАРЧУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХНЬОГО ВПРОВАДЖЕННЯ У МЕНЮ ШКІЛ

**Чебаненко Євгенія Валеріївна**

магістр кафедри технології харчування  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0009-0005-3867-4187  
evgeniachebanenko@gmail.com

**Бідюк Дмитро Олегович**

кандидат технічних наук  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-3290-703X  
dmytro.bidiuk@gmail.com

**Маренкова Тетяна Іванівна**

старший викладач кафедри технології харчування  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0001-7481-0848  
tetanamarenkova@gmail.com

*Дослідженнями стану організації шкільного харчування в Україні було виявлено ряд суттєвих проблем, які стали підґрунтям для глобального реформування системи шкільного харчування у 2020 році. Сьогодні удосконалення системи шкільного харчування в Україні спрямоване на виховання культури та правильних харчових звичок, зміцнення здоров'я, гармонійний фізіологічний розвиток дитини та здійснюється відповідно до Національної стратегії розбудови безпечного і здорового освітнього середовища в Новій українській школі. Це стає можливим завдяки комплексному підходу в цій сфері, що враховує медичні, правові, соціальні, фінансові і технологічні аспекти.*

*Однак поступове впровадження реформи показало, що незадоволеність шкільним харчуванням дітей та їхніх батьків досі існує. Особливо це стосується групи страв з бобових, які, з одного боку, є важливою складовою раціону завдяки високій харчовій і біологічній цінності та обов'язково мають бути включені раз на тиждень в шкільне меню, а з іншого, користуються найменшою популярністю серед учнівської молоді.*

*Згідно з нашими спостереженнями, проблема відмови школярів від споживання страв з бобових та пов'язаних з цим втратами готової продукції до 92% у вигляді харчових відходів має системний характер. Опосередковано це підтверджується виявленими фактами виключення з меню різних шкіл страв з бобових.*

*Відповідно до проведених анонімних добровільних опитувань учнів всіх вікових груп нами було виявлено тенденцію зменшення бажання споживати страви з бобових з нового чотиритижневого меню зі зниженням віку дітей, а також закономірність їхньої різко негативної реакції на ці страви через виражений специфічний запах і смак основної сировини. На підставі цього нами запропоновано нові підходи в приготуванні страв з бобових. Вони включали в себе створення кулінарної продукції із сировинним складом, органолептичними показниками, способом оформлення зовнішнього вигляду, подачею, фірмовою назвою, які би не мали асоціацій із бобовими.*

*Результатом досліджень та відпрацювань стали дві удосконалені страви – «Чарівні фалафельники» та «Бананові феєрверки», які отримали максимальну оцінку під час дегустації школярами. Перша являла собою фалафель з вареного нуту з використанням широкого спектру прянощів та спецій, а друга – оладки з квасолі з додаванням банана та кураги.*

*На нові страви було розроблено проєкт технологічних карток та план НАССР з впровадження нових страв в шкільне меню. Розрахунками очікуваного економічного ефекту було доведено, що впровадження удосконалених страв дозволить ефективніше використовувати державне фінансування за рахунок зменшення втрат на 75% на рік з однієї школи (на прикладі КУ ССШ І-ІІІ ступенів №29, м. Суми). При цьому зниження кількості неспожитих страв у вигляді харчових відходів на 3390 кг на рік сприятиме зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.*

**Ключові слова:** шкільне харчування, реформа системи шкільного харчування, страви з бобових, шкільне меню.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.13>

**Вступ.** Харчування та харчові звички є ключовими в житті кожної людини (Johnston et al., 2014). Стале споживання та виробництво є важливим аспектом Цілей сталого розвитку в контексті сприяння моделям харчування, які здатні сприяти зниженню екологічних, економічних та соціальних витрат, зміцненню економічної конкурентоспроможності та зменшенню бідності (UN General

Assembly, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015). Визначення здорового харчування є консенсусним; за даними ВООЗ, здорове харчування допомагає захистити від недоїдання в усіх його формах, а також від неінфекційних захворювань, включаючи діабет, хвороби серця, інсульт і рак (Rojas et al., 2011). Згідно з Катцом і Меллером (Katz&Meller,

2014), оптимальний режим харчування можна легко описати фразою: «Переважно рослинна їжа».

Школа є привілейованим середовищем для навчання здоров'я та культури харчування, підвищення екологічної обізнаності, в ній набуваються та закріплюються звички та спосіб життя (Malisova et al., 2021). Меню шкільного харчування традиційно має бути розроблене з метою формування культури здорових харчових звичок, спрямованих на зміцнення здоров'я та гармонійний фізіологічний розвиток дитини (Aliyar et al., 2015; Malisova et al., 2021; Willett et al., 2019). Програми шкільного харчування вважаються цілком заходів сталого розвитку. Дослідницький огляд (Cohen et al., 2013; Nöjjer et al., 2020) стверджував, що школи та лікарні є домінуючими аренами, де здоров'я та стійкість розглядаються задля досягнення більш цілісної точки зору на споживання їжі (Ribal et al., 2015).

Дослідження стану організації шкільного харчування в Україні виявили ряд ключових проблем, зокрема, низьку доступність та рівень споживання важливих груп харчових продуктів (овочів, фруктів, цільних злаків, бобових, риби, молочних продуктів тощо), надмірну кількість у нормах та високі рівні споживання вільного цукру, кухарської солі, жиру, хлібу, оброблених харчових продуктів, одноманітну та несмачну їжу у шкільних їдальнях, відсутність необхідної ротації корисних та смачних страв, відмову школярів від їх споживання, неконтрольований асортимент буфетів, 80% якого складають солодощі та солодкі напої (Pryadko et al., 2021; Heiko et al., 2020; Svystun & Lianna, 2017).

Національна асоціація громадського харчування (NFA) виокремила топ-3 проблем шкільного харчування в Україні: ожиріння (станом на 2017 рік 13,3% українських школярів страждають на ожиріння), величезні втрати харчової сировини (до 80% страв потрапляють у харчові відходи), застаріле обладнання, яке споживає велику кількість ресурсів (ТОП-3 проблеми шкільного харчування в Україні – Національна асоціація громадського харчування, 2021).

У 2020 році в Україні було розпочато глобальну зміну системи харчування у закладах освіти у вигляді реформи, яку почали здійснювати профільні міністерства, окремі державні установи за підтримки ряду міжнародних партнерів, експертного середовища та профільних українських фахівців. Удосконалення системи організації харчування в закладах освіти стало однією з 8 стратегічних цілей Національної стратегії розбудови безпечного і здорового освітнього середовища у новій українській школі.

Підґрунтям для реформи стали дослідження стану шкільного харчування в Україні, які були ініційовані Міністерством освіти і науки України та проводилися шляхом опитувань та формування експертної думки (Результати опитування: задоволеність батьків та учнів шкільним харчуванням, 2020). Дослідження виявили суттєві проблеми та їхні кореневі причини. Зокрема, на думку практично половини опитаних респондентів-батьків та учнів, страви шкільної їдальні не відповідали їхнім очікуванням (одноманітне меню, низькі органолептичні показники,

недовіра до якості шкільних страв та ін.). Фахівці виявили такі ключові проблеми в організації харчування, як відсутність умов для дієтичного харчування, зношене та застаріле обладнання, недостатнє розуміння принципів повноцінного харчування, повільне запровадження системи НАССР тощо.

Згідно із реформою удосконалення системи організації харчування, в закладах освіти передбачає комплексну роботу, пов'язану із оновленням законодавчої бази (перегляд та запровадження нових норм і правил організації харчування в закладах освіти), модернізацією обладнання для їдальнь закладів освіти, сучасною підготовкою кухарів дитячого харчування, забезпеченням формування культури здорового, збалансованого споживання їжі. Так, в рамках реформи системи шкільного харчування була створена платформа про здорове харчування у школах «Знаймо» («знаємо, що їмо») (Знаймо: Платформа про здорове шкільне харчування, 2020), яка містить всю ключову інформацію та має на меті інформувати освітніх управлінців, керівників закладів освіти, педагогів та батьків про зміни в системі харчування та найкращі практики організації харчування у школах (Розпочала роботу платформа про здорове харчування у школах «Знаймо», 2021).

Безумовно зміни торкнулися й раціону. Нове чотириденне меню з покроковими рецептами та технологічними картками на 160 страв було підготовлене робочою групою за участі шеф-кухаря Євгена Клопотенка та затверджене Міністерством охорони здоров'я. У ньому обмежено кількість солі та цукру, жирів рослинного й тваринного походження та субпродуктів. Натомість збільшено кількість споживання молока та кисломолочних продуктів, м'яса, риби, свіжих овочів і фруктів. Важливо відмітити, що нове меню не обов'язкове, кожен заклад освіти може розробити своє меню, яке має відповідати Постанові Кабміну № 305 «Про затвердження норм та Порядку організації харчування у закладах освіти та дитячих закладах оздоровлення та відпочинку», та затвердити його у Держпродспоживслужбі.

Варто зазначити, що реформа шкільного харчування не може відбутись без свідомої і відповідальної позиції кожного її стейкхолдера, серед яких на локальному рівні є батьки, що зацікавлені у збалансованому харчуванні своїх дітей, працівники їдальні, які хочуть відчувати емоційний відгук дітей від спожитого харчування, а на глобальному – органи місцевого самоврядування, профільні міністерства та інші державні структури, головне завдання яких полягає у формуванні культури здорового, збалансованого споживання їжі та вихід на новий законодавчий та технологічний рівень в контексті стратегічних цілей Національної стратегії розбудови безпечного і здорового освітнього середовища у новій українській школі.

Водночас під час впровадження реформи стало зрозуміло, що багато батьків і дітей знову не задоволені новим харчуванням (Реформа шкільного харчування: розбираємо основні зміни – Накипіло, 2022). На локальному рівні у місті Суми було з'ясовано, що найменшим попитом у школярів користуються страви з бобових. За

нашими спостереженнями ця проблема набула системного характеру, оскільки під час моніторингу відкритих даних в мережі Internet, а також спілкування із представниками інших шкіл, було виявлено факти виключення з меню страв з бобових.

Враховуючі перспективи реформи шкільного харчування, а також її очікувані результати, які полягають у сприянні здорового вибору продуктів, їхньої збалансованості, виховання здорових звичок, задоволенні від споживання смачної та корисної їжі за рахунок поєднання наукових рекомендацій та креативності у розробці нових страв, актуальним стає напрям покращення нового меню з метою впровадження страв з бобових, які би цінувалися та користувалися попитом серед дітей.

Ключовим питанням, якому слід приділити увагу, на нашу думку, є пошук можливостей зацікавлення школярів у стравах з бобових, формування в них впевненості й стійкого враження про їхню користь та високі сенсорні характеристики.

Таким чином, метою даної статті є удосконалення існуючих страв з бобових для шкільного харчування для їхнього впровадження в перспективне меню шкіл міста Суми з можливістю апробації та поширення результатів на школи інших міст України.

**Матеріали і методи досліджень.** Згідно з поставленою метою нами було розроблено програму аналітичних та експериментальних робіт (рис. 1), яка спрямована на удосконалення технології страв з бобових для шкільного харчування на прикладі фалафеля з вареного нуту та оладок з квасолі, банана та кураги для їхнього впровадження в перспективне меню шкіл міста Суми.

Предметами досліджень в даній роботі були дві традиційні страви з бобових з нового чотиритижневого меню «Лобіо з квасолею» та «Горохове пюре з чорносливом», а також удосконалені страви – «Фалафель із сирого нуту», «Фалафель із вареного нуту», «Оладки з квасолі

та банана», «Горохляники з зеленого горошку», «Оладки з квасолі, банана та кураги».

Дослідження проводилися на базі їдальні школи № 29 міста Суми з вересня 2020 року до лютого 2022 року, а також в умовах воєнного стану після повномасштабного вторгнення РФ з травня 2022 року до травня 2023 року. Оцінку органолептичних показників зазначених страв проводили шляхом дегустації з визначенням зовнішнього вигляду, кольору, запаху та смаку. Після цього проводили анкетування школярів, які добровільно зі згодою батьків відповідали на питання. Цільовою групою під час дегустації традиційних страв до повномасштабного вторгнення були учні з 1-го по 9 клас у кількості 320 дітей в наступному співвідношенні: 6-11 років – 288 дітей, 11-14 років – 32 дитини. У період війни в дегустації страв брало участь 80 школярів різних вікових категорій, серед яких: 6-11 років – 38 дітей, 11-14 років – 24 дитини, 14-18 років – 18 дітей. Результати дегустації та опитування представляли графічно у вигляді стовбчастих діаграм. Величина органолептичних показників для зручності дітей визначалась за 12-бальною шкалою.

Відпрацювання технології здійснювали з дотриманням Постанови Кабінету міністрів України №305 від 24 березня 2021р. «Про затвердження норм та Порядку організації харчування у закладах освіти та дитячих закладах оздоровлення та відпочинку» та Наказу Міністерства охорони здоров'я України від 25.09.2020 № 2205 (Про затвердження Гігієнічних вимог до виробництва та обігу харчових продуктів на потужностях, розташованих у закладах загальної середньої освіти, Наказ Міністерства розвитку економік, торгівлі та сільського господарства України № 2532, 2021; Про затвердження норм та порядку організації харчування у закладах освіти та дитячих закладах оздоровлення та відпочинку, Постанова Кабінету Міністрів України № 305, 2023; Про затвердження Санітарного регламенту для закладів загальної



Рис. 1. Програма аналітичних та експериментальних робіт з удосконалення технології страв із бобових



середньої освіти, Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 2205, 2022).

Під час удосконалення технології страв брали до уваги такі показники як поєднання продуктів, норми вкладення сировини масою нетто, температурний режим і тривалість теплової обробки, кулінарну готовність страви, вихід готової страви, органолептичні показники якості страви.

Харчову та енергетичну цінність визначали розрахунковим шляхом із застосуванням відповідної довідкової літератури (Химический состав пищевых продуктов: Кн.1. Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов, 1987).

Результати досліджень. Протягом 2021-2022 рр. нами були проведені анонімні добровільні опитування на предмет задоволеності стравами з бобових згідно нового меню, а також дослідження з моніторингу вражень серед школярів різних вікових груп під час їхнього споживання. Спостереження за дітьми, які харчуються в шкільній їдальні, та спілкування з ними дало змогу сформулювати стійку думку, що страви з бобових загалом викликають негатив. За нашими результатами опитувань дітей різного шкільного віку 86,5% з них відмовляються їсти страви з бобових.

Проведена бальна оцінка страв з бобових (рис. 2) дозволила визначити тенденцію зменшення уподобань зі зниженням віку дітей: школярі вікової групи 6-11 років оцінили зовнішній вигляд, запах та смак на 4,0, 2,0 та 1,8 балів, 11-14 років – на 5,0, 2,5 та 2,3 бали, 14-18 років – на 5,5, 3,0 та 3,9 балів.

На наступному етапі було проведено моніторинг вражень та проаналізовано реакції та думки дітей. У табл. 1 узагальнено найпопулярніші відповіді та реакції.

За отриманими результатами видно, що основною причиною відмови від споживання страв з бобових є яскраво виражений запах та смак бобових, що загалом формує різко негативну реакцію на зовнішній вигляд цих страв.

Наведені вище дані стали підґрунтям для удосконалення групи страв з бобових з метою покращення їхнього споживання школярами усіх вікових груп. Виходячи з нашого практичного досвіду, наявності, реального стану обладнання для їдальні, використовуваної сировини, нами були запропоновані ряд підходів, які, на нашу думку, можуть вирішити узагальнену проблему відмови від споживання страв з бобових.

1. Використання певної теплової обробки. Рациональним варіантом для шкільного харчування буде варіння та запікання. За умови врахування зовнішнього вигляду, привабливості та апетитності страви, з метою зацікавлення дітей, перевагу можна віддати запіканні. Для деяких страв задля досягнення необхідного результату можна використовувати як допоміжний етап – варіння (Технологічні карти страв та виробів для харчування дітей віком від 6 до 18 років у закладах освіти, дитячих закладах оздоровлення та відпочинку та дитячих закладах сфери соціального захисту, Науковий звіт санітарно-епідеміологічної оцінки проекту технологічної документації № 8.2/2469 від 06.09.2021 р., 2021). Варто враховувати, щоб термічна обробка обраних страв не

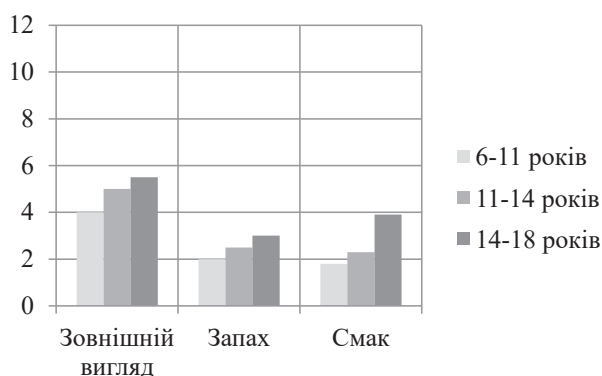


Рис. 2. Бальна оцінка страв із бобових із нового чотиритижневого шкільного меню

Таблиця 1

**Моніторинг вражень та узагальнені відгуки дітей усіх вікових груп під час споживання страв із бобових із нового чотиритижневого шкільного меню**

| Органолептичні показники та перспективний напрямок їхніх змін | Реакції на органолептичні показники | Усереднена бальна оцінка, балів | Узагальнені відгуки                                                            |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Зовнішній вигляд                                              | Різко негативна                     | 4,83                            | «я таке не їм», «фу, це квасоля, горох, тощо», «навіть куштувати не буду»      |
| Запах                                                         | Негативна                           | 2,5                             | «не подобається», «пахне несмачно»                                             |
| Смак                                                          | Негативна                           | 2,67                            | «відчувається квасоля, горох, тощо, тому не подобається»                       |
| Напрямок змін показників                                      | Готові спробувати за умови, якщо... |                                 | «не буде видно, що це бобові», «замаскувати специфічний запах та смак бобових» |

шкодила здоров'ю, та співпадала з усіма вимогами та рекомендаціями.

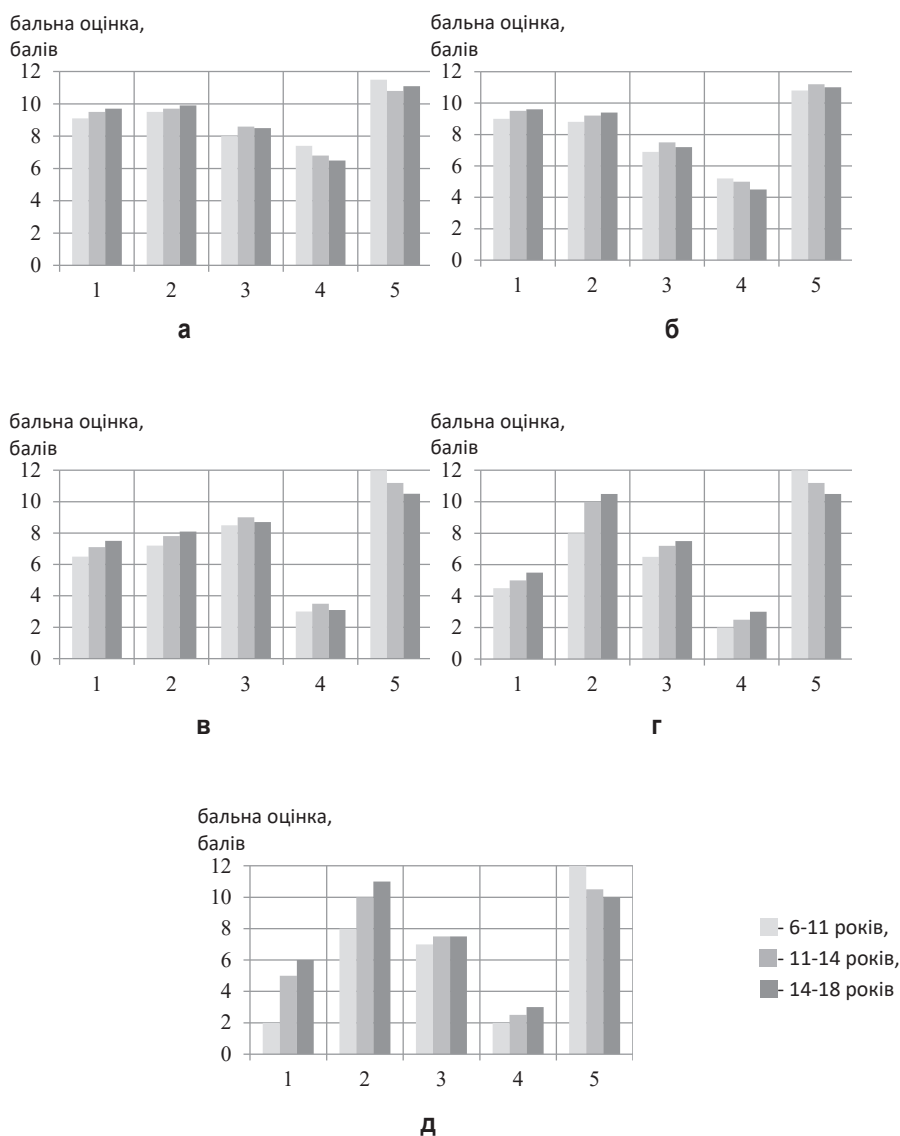
2. Підбір сировинних компонентів. Важливою умовою при цьому є створення композиції, яка не буде за смаком та запахом асоціюватися із бобовою сировиною. На наш погляд цього результату можна досягти завдяки додаванню спецій, прянощів, зелені, фруктів або сухофруктів, які можуть маскувати характерні органолептичні показники бобових, збагачувати відтінки смаку та аромату, а також збуджувати апетит.

3. Вибір оформлення зовнішнього вигляду та способу подачі. Важливою складовою сприйняття страви є її зовнішній вигляд, тому варто створити її таким чином аби не було асоціацій з бобовими та традиційними стравами з них.

На підставі вищенаведених даних було обрано 5 страв, які могли би стати альтернативою класичним зі шкільного

меню: фалафель класичний, фалафель з вареного нуту, оладки з квасолі та банана, горохляники з зеленого горошку, оладки з квасолі, банана та кураги. Дані страви було виготовлено професійними кухарями з урахуванням їхнього досвіду в умовах їдальні школи № 29 міста Суми та проведено дегустацію серед дітей обраних вікових категорій. На рис. 3 наведено дані бальної оцінки органолептичних показників запропонованих страв (а-г), а також ступеня бажання їх бачити в шкільному меню (д).

За підсумком проведеного аналізу дегустаційних листів було встановлено, що в основному найбільшу оцінку отримали дві страви: «Фалафель з вареного нуту» (рис. 3, страва 2) та «Оладки з квасолі, банана та кураги» (рис. 3, страва 5), ступінь бажання бачити які у шкільному меню в бальному еквіваленті максимальна та складає 8,0...11,0 та 10,0...12,0 балів відповідно.



**Рис. 3.** Бальна оцінка органолептичних показників (а – зовнішній вигляд, б – колір, в – запах, г – смак) удосконалених страв з бобових (1 – фалафель класичний, 2 – фалафель з вареного нуту, 3 – оладки з квасолі та банана, 4 – горохляники з зеленого горошку, 5 – оладки з квасолі, банана та кураги) та ступеня бажання їх бачити в шкільному меню (д) школярів різних вікових груп

Узагальнену бальну оцінку органолептичних показників обраних страв наведено у табл. 2.

На підставі проведеного дослідження нами були створені технологічні схеми обраних страв (рис. 4, 5), наведені загальні характеристики готових страв, а також прораховано харчову та енергетичну цінність (табл. 3, 4).

Характеристика готової страви «Фалафель з вареного нуту»: зовнішній вигляд – кульки діаметром 3-4 см, маса та форма рівномірні, смак та запах – приємний, характерний для страв з нуту, в міру солоний, з яскравим ароматом та присмаком спецій, колір – рум'яна шкірочка з помаранчевим та червоним відтінком завдяки паприці та куркумі, на розрізі притаманний страві з нуту, консистенція – шкірочки щільна, в міру засмажена,

в середині виробу – пухка. Наявність харчових алергенів у страві: Я – яйця, Г – глютен, можуть містити залишки або сліди С – селери.

Характеристика готової страви «Оладки з квасолі, банана та кураги»: зовнішній вигляд – оладки круглої форми 5-6 см в діаметрі, завтовшки 1-1,5 см, з підрум'яненою скоринкою, смак та запах – приємний, фруктовий, солодкий, колір – рум'яна кірочка з помаранчевим відтінком завдяки куразі, на розрізі жовто-помаранчевий, консистенція – однорідна, соковита, з трошки хрумкою скоринкою на поверхні. Наявність харчових алергенів у страві: Я – яйця, Г – глютен.

На нові страви було розроблено план НАССР з впровадження нових страв в шкільне меню (табл. 5).

Таблиця 2

Узагальнена бальна оцінка органолептичних показників обраних страв

| Органолептичний показник                | Страва 2 – Фалафель з вареного нуту | Страва 5 – Оладки з квасолі, банана та кураги |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Зовнішній вигляд                        | 9,5...9,9                           | 10,8...11,5                                   |
| Колір                                   | 8,8...9,4                           | 10,8...11,2                                   |
| Запах                                   | 7,2...8,1                           | 10,5...12,0                                   |
| Смак                                    | 8,0...10,5                          | 10,5...12,0                                   |
| Ступінь бажання бачити в шкільному меню | 8,0...11,0                          | 10,0...12,0                                   |

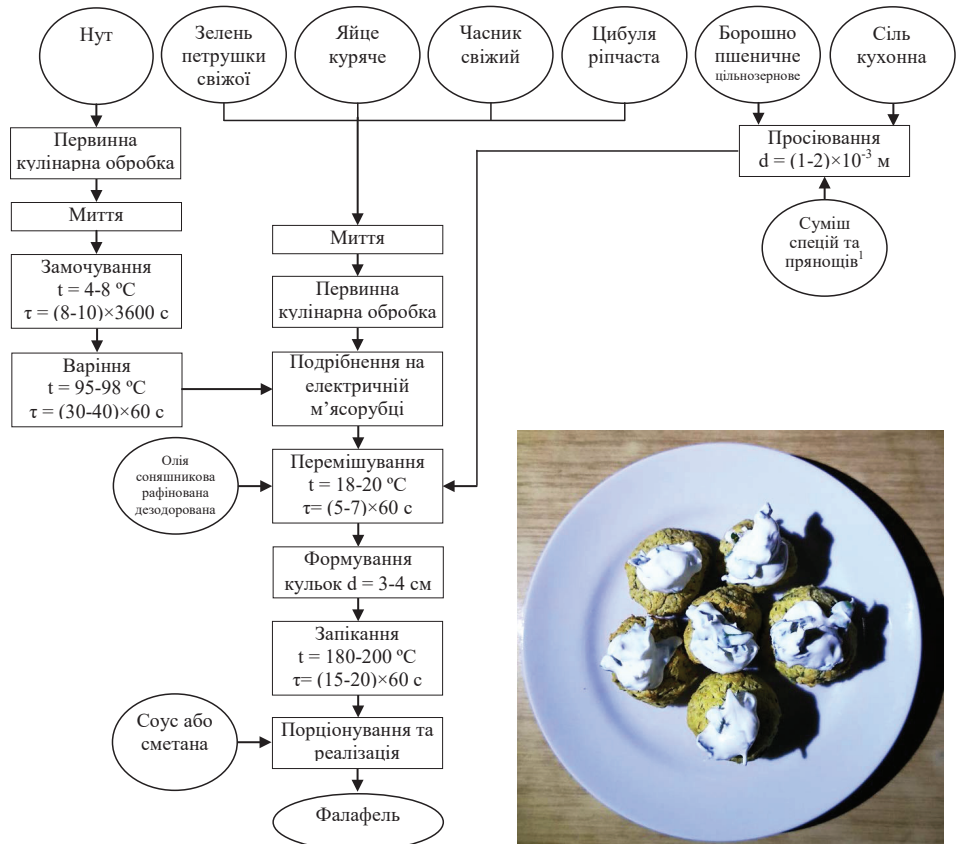


Рис. 4. Технологічна схема та зовнішній вигляд страви «Фалафель з вареного нуту»

Примітка: <sup>1</sup> – Перець чорний, паприка, куркума, коріандр мелені, кмин, зіра

Таблиця 3

Харчова (поживна) та енергетична цінність (калорійність) страви «Фалафель з вареного нуту» на 1 порцію

| Вихід, г на 1 порцію | Поживна цінність та калорійність |                        |                             |                  |
|----------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------|
|                      | Білки,<br>г на 1 порцію          | Жири,<br>г на 1 порцію | Вуглеводи,<br>г на 1 порцію | Ккал на 1 порцію |
| 100                  | 11,7                             | 6,8                    | 30,9                        | 246              |
| 120                  | 14,1                             | 8,4                    | 37,1                        | 298              |
| 150                  | 17,6                             | 10,2                   | 46,4                        | 369              |

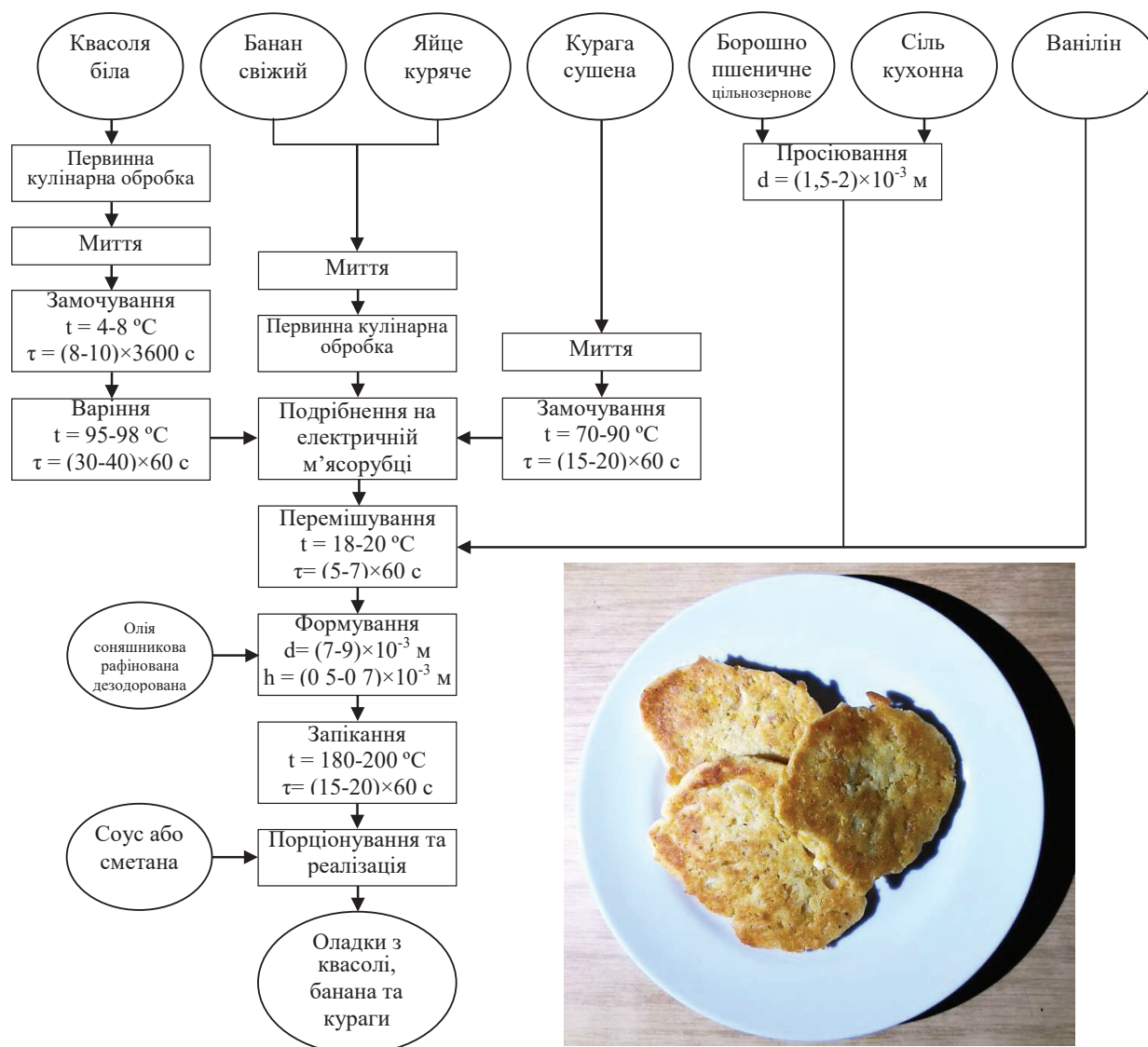


Рис. 5. Технологічна схема та зовнішній вигляд страви «Оладки з квасолі, банана та кураги»

Таблиця 4

Харчова (поживна) та енергетична цінність (калорійність) страви «Оладки з квасолі, банана та кураги» на 1 порцію

| Вихід, г на 1 порцію | Поживна цінність та калорійність |                        |                             |                  |
|----------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------|
|                      | Білки,<br>г на 1 порцію          | Жири,<br>г на 1 порцію | Вуглеводи,<br>г на 1 порцію | Ккал на 1 порцію |
| 100                  | 6,5                              | 5,0                    | 28,6                        | 185              |
| 120                  | 7,8                              | 6,0                    | 34,2                        | 222              |
| 150                  | 9,7                              | 7,5                    | 42,4                        | 277              |



План НАССР

| Етап процесу                          | Операція                                                | КТК     | Опис небезпечного чинника                 | Граничне значення                                                                                                                                                                                                                              | Процедура моніторингу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Коригувальна дія                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Підготовка сировини                   | Миття яєць курячих                                      | КТК-1БХ | Б – КМАФАнМ, БГКП (коліформи), сальмонела | Для води (1 етап оброблення):<br>Тривалість замочування – 5 хв<br>Температура – 20-40 °С<br>Для розчину мийного засобу ЕКОХІМ 40 (2 етап оброблення):<br>Тривалість замочування – 5-10 хв<br>Температура – 40-50 °С<br>Концентрація – 0,3-0,4% | 1. Використання відповідного місця та виділеного окремого інвентарю<br>2. Візуальний огляд на наявність забруднень після миття на 1 етапі<br>3. Контроль дотримання параметрів миття мийним засобом уповноваженим кухарем<br>4. Окреме зберігання необроблених яєць                                                                             | 1. Корегування (доливання) робочого розчину дезінфікуючих засобів за зміну залежно від ефективності видалення забруднень зі шкаралупи<br>2. Заміна робочого розчину дезінфікуючих засобів раз за зміну або в міру забруднення<br>3. Контроль за справністю засобів вимірювань технологічних параметрів операції (ваги, термометри, годинники тощо)<br>4. Контроль за умовами та термінами зберігання мийного засобу та індикаторного паперу |
|                                       | Первинна кулінарна обробка яєць курячих                 | КТК-3Ф  | Ф – шкаралупа яєць                        | Відсутність будь-яких часток шкаралупи у суміші розбитих яєць                                                                                                                                                                                  | 1. Візуальний огляд на наявність часток шкаралупи у суміші розбитих яєць<br>2. Відокремлення шкаралупи від яєчної маси порціями по 8-10 яєць з наступним переливанням у загальну ємність<br>3. Контроль щотиння у день виготовлення страв уповноваженим кухарем                                                                                 | 1. Додаткова фільтрація яєчної суміші за необхідності<br>2. Повторний візуальний огляд яєчної суміші перед внесенням її у суміш для напівфабрикату                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                       | Просіювання борошна пшеничного цілюнозернового          | КТК-2Ф  | Ф – сторонні домішки різного походження   | Діаметр вічок сита – 1,5-2 мм<br>Відсутність будь-яких сторонніх домішок у просіяному борошні                                                                                                                                                  | 1. Візуальний огляд на наявність сторонніх домішок у просіяному борошні<br>2. Контроль щотиння у день виготовлення страв уповноваженим кухарем                                                                                                                                                                                                  | 1. Контроль за справністю інвентарю та пристроїв для просіювання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Кулінарна обробка напівфабрикатів     | Запікання формованих напівфабрикатів фалафеля та оладок | КТК-4БФ | Б – патогенні мікроорганізми              | Температура запікання – 180-200 °С<br>Тривалість запікання – 15-20 хв<br>Температура всередині – не менше 75°С                                                                                                                                 | 1. Візуальний контроль відповідальним кухарем за дотриманням режиму теплової обробки згідно технологічної інструкції кожної партії страв, що завантажуються у конвектомат<br>2. Контроль за санітарно-гігієнічним станом приміщення, чистотою конвектомату та допоміжного інвентарю<br>3. Контроль за особистою гігієною відповідального кухаря | 1. Контроль за справністю конвектомату та допоміжного інвентарю<br>2. Контроль за виконанням заходів з особистої гігієни відповідального кухаря                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                       | Порціонування та реалізація готових страв               | КТК-5Б  | Б – патогенні мікроорганізми              | Відсутність будь-яких сторонніх предметів у страві після термообробки                                                                                                                                                                          | 1. Застосування спецодягу відповідальним кухарем<br>2. Візуальний огляд кожної партії страв на наявність сторонніх предметів після теплової обробки                                                                                                                                                                                             | 1. Контроль за справністю конвектомату та допоміжного інвентарю<br>2. Контроль за застосуванням спецодягу відповідальним кухарем                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Порціонування та видача готових страв |                                                         | КТК-5Б  | Б – патогенні мікроорганізми              | Температура подачі готових страв – 65-75 °С<br>Тривалість реалізації – 120 хв                                                                                                                                                                  | 1. Контроль за температурою подачі готових страв<br>2. Контроль за санітарно-гігієнічним станом приміщення, чистотою посуду та допоміжного інвентарю<br>3. Контроль за особистою гігієною відповідального кухаря                                                                                                                                | 1. Контроль за справністю засобів вимірювань технологічних параметрів операції (термометри, годинники)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Розрахунками очікуваного економічного ефекту було доведено, що впровадження удосконалених страв дозволить ефективніше використовувати державне фінансування за рахунок зменшення втрат на 75% в грошовому еквіваленті на рік на прикладі КУ ССШ I-III ступенів №29 м. Суми (табл. 6). При цьому зниження кількості неспожитих страв у вигляді харчових відходів на 3390 кг на рік сприятиме зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Обговорення. Бобові культури є важливою частиною в раціоні харчування людини. За показниками харчової та біологічної цінності, економічної доступності сировини, наявності її цілий рік та невибагливих умов зберігання бобові є перспективною сировиною для виготовлення широкого асортименту кулінарної продукції. Бобові як сировина характеризуються високою харчовою та біологічною цінністю, містять 23-30% білків, які за амінокислотним складом наближаються до тваринних білків, 18-60% крохмалю, 3-6% клітковини, 1,3-7,2 % жирів, вітаміни (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, PP) та мінеральні речовини (K, Ca, Mg, Fe).

В Збірнику страв старого зразку запропоновано відносно малий асортимент страв з бобових на вибір, наприклад «Бобові відварні з вершковим маслом», «Пюре з бобових з вершковим маслом», «Запіванка з бобових та картоплі» та «Квасоля з солодким перцем». Характерною особливістю даних страв є однаковість, досить виражений смак та аромат бобових, як правило, не привабливий зовнішній вигляд. Загалом це негативно впливає на апетит та бажання дітей шкільного віку куштувати ці страви, що спричиняє, за нашими спостереженнями, утворенню втрат до 90% готових страв у вигляді нез'їдених порцій, марних витрат сировинних, трудових та інших ресурсів.

Після масштабної роботи з модернізації шкільного харчування в новому чотиритижневому меню, яке було підготовлене робочою групою за участі шеф-кухаря Євгена Клопотенка, запропоновано ряд нових страв, а саме: «Горохове пюре з зеленого гороху», «Лобіо з квасолею», «Квасоля варена біла», «Квасоля червона варена», «Товчанка», «Горохове пюре з чорносливом» та «Сочевиця зі спеціями». На наш суб'єктивний

практичний погляд, нові страви більш різноманітні та смачніші, однак більшість школярів різних вікових груп все одно відмовляється їх їсти, а іноді навіть пробувати.

Згідно з Постановою №305 від 24 березня 2021р. «Про затвердження норм та Порядку організації харчування у закладах освіти та дитячих закладах оздоровлення та відпочинку», при одноразовому п'ятиденному харчуванні дітей бобові необхідно вводити 1 раз на тиждень.

На даний час в усьому світі в пріоритет є напрямок здорового харчування, саме тому все більше країн впроваджує систему безпечності харчових продуктів, систему HACCP, вона дозволяє контролювати виробництво харчових продуктів і запобігати виготовленню, а як наслідок і реалізації продукції, котра може завдати шкоди споживачеві. Найважливіше в системі HACCP, що власне і лягло в її фундамент – це максимально попередити, або хоча б мінімізувати можливість будь-якої небезпеки.

На підприємстві, де планується впровадження удосконалених страв, а саме у КУ ССШ I-III ступенів №29, м. Суми, Сумської області, розроблені, впроваджені та застосовуються процедури, засновані на використанні в повному обсязі принципів системи управління безпечністю харчових продуктів (HACCP). Впровадження системи HACCP здійснюється за умови застосування широкого підходу, заснованого на співпраці всього персоналу закладу, у тому числі її керівництва. Персонал володіє пропорційними знаннями системи HACCP відповідно до його посадових обов'язків.

**Висновки.** Досвід втілення реформи системи шкільного харчування показав, що зміни в її структурі відбуваються дуже повільно, а діти та їхні батьки не в повній мірі задоволені шкільним харчуванням, зокрема найменшою популярністю серед учнівської молоді користуються страви з бобових. За нашими спостереженнями проблема відмови школярів від споживання страв з бобових та пов'язаної з цим втрати готової продукції до 92% у вигляді харчових відходів, неефективним використанням сировинних, енергетичних та інших ресурсів, має системний характер. Опосередковано це підтверджується виявленими фактами виключення страв з бобових з меню різних шкіл. Згідно проведених

Таблиця 6  
**Порівняльна характеристика економічної ефективності впровадження удосконалених страв із бобових**

| Показник                                                                | Традиційні страви |                             | Нові страви              |                                    |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|
|                                                                         | Лобіо з квасолею  | Горохове пюре з чорносливом | Фалафель з вареного нуту | Оладки з квасолі, банана та кураги |
| Собівартість страви <sup>1</sup> , грн/порція                           | 9,95              | 3,68                        | 12,87                    | 17,18                              |
| Обсяг випуску продукції за 1 тиждень/1 рік, порцій                      | 650/22750         | 650/22750                   | 650/22750                | 650/22750                          |
| Річна собівартість реалізованої продукції, грн                          | 226362,50         | 83720,00                    | 292792,50                | 390845,00                          |
| Рівень утворених харчових залишків, % реалізованої продукції            | 76                | 92                          | 12                       | 7                                  |
| Річна собівартість спожитої продукції, грн                              | 54327,00          | 6697,60                     | 257657,40                | 363485,85                          |
| Річна вартість утворених харчових залишків у грошовому еквіваленті, грн | 172035,50         | 77022,40                    | 35135,10                 | 27359,15                           |

Примітка: <sup>1</sup> – за цінами станом на 01.09.2023 р.

у 2020-2022 рр. анонімних добровільних опитувань учнів з 1-го по 9-й класи нами було виявлено тенденцію зменшення бажання споживати страви з бобових з нового чотиритижневого меню зі зниженням віку дітей, а також закономірність їхньої різко негативної реакції на ці страви через виражений специфічний запах і смак основної сировини. Загалом за нашими результатами опитувань 86,5% дітей відмовлялися їсти страви з бобових. На підставі цього нами було проведено удосконалення групи страв з бобових з метою покращення їхнього споживання школярами усіх вікових груп. Виходячи з нашого практичного досвіду, наявності та реального стану обладнання для їдальні, використовуваної сировини, нами були запропоновано ряд підходів, які включали в себе створення кулінарної продукції із сировинним складом, органолептичними показниками, способом оформлення

зовнішнього вигляду, подачею, фірмовою назвою, які би не мали асоціацій із бобовими. Результатом досліджень та відпрацювань стали дві удосконалені страви – «Фалафель з вареного нуту» та «Оладки з квасолі, банана та кураги», які отримали максимальну оцінку під час дегустації школярами. На нові страви було розроблено проект технологічних карток та план HACCP з впровадження нових страв в шкільне меню. Розрахунками очікуваного економічного ефекту було доведено, що впровадження удосконалених страв дозволить ефективніше використовувати державне фінансування за рахунок зменшення втрат на 75% в грошовому еквіваленті на рік на прикладі КУ ССШ І-ІІІ ступенів №29 м. Суми. При цьому зниження кількості неспожитих страв у вигляді харчових відходів на 3390 кг на рік сприятиме зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

### Бібліографічні посилання:

1. Aliyar, R., Gelli, A., & Hamdani, S. H. (2015). A Review of Nutritional Guide lines and Menu Compositions for School Feeding Programs in 12 Countries. *Frontiers in Public Health*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2015.00148>
2. Battle-Bayer, L., Bala, A., Aldaco, R., Vidal-Monés, B., Colomé, R., & Fullana-i-Palmer, P. (2021). An explorative assessment of environmental and nutritional benefits of introducing low-carbon meals to Barcelona schools. *Science of The Total Environment*, 756, 143879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143879>
3. Berzin, V. I., & Stelmakhivska, V. P. (2018). Hygienic aspects of the problem of school age children feeding in modern conditions. *Health of Society*, 7(2), 87–90. <https://doi.org/10.22141/2306-2436.7.2.2018.137733>
4. Clubei, S., Pogorelova, K., Saltykova, H., Gnyloskurenko, G., & King, E. (2021). Exploration of factors of formation of food habits and modern tendencies of school food at children of different age. *Ukrainian Scientific Medical Youth Journal*, 121 (1), 70-82. [https://doi.org/10.32345/usmyj.1\(121\).2021.70-82](https://doi.org/10.32345/usmyj.1(121).2021.70-82)
5. Cohen, J. F. W., Richardson, S., Austin, S. B., Economos, C. D., & Rimm, E. B. (2013). School Lunch Waste Among Middle School Students. *American Journal of Preventive Medicine*, 44 (2), 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.09.060>
6. Halushko N. A. Evolution of nutrition system of the population of independent Ukraine. *Ukrainian Journal of Modern Toxicological Aspects*. 2018. Vol. 82-83, no. 2-3. P. 107–117. <https://doi.org/10.33273/2663-4570-2018-82-83-2-3-107-117>
7. Heiko, L., & Yurochko, T. (2020). Healthy diet policy for children of early school age in Ukraine: literature review. *Investytsiyyi: praktyka ta dosvid*, (15-16), 81. <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2020.15-16.81>
8. Höjjer, K., Lindö, C., Mustafa, A., Nyberg, M., Olsson, V., Rothenberg, E., Sepp, H., & Wendin, K. (2020). Health and Sustainability in Public Meals – An Explorative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2), 621. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020621>
9. Hozak S. V., Yelizarova O. T., Stankevych T. V., & Parats A. M. (2017). Faktychne kharchuvannia suchasnykh shkoliriv ta yoho vplyv na rozumovu pratsездatnist i vtomu [Factual nutrition of modern schoolchildren and its impact on mental efficiency and fatigue]. *Dovkillia ta zdorovia*, (3 (83)), 29-33. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/faktichne-harchuvannya-suchasniy-shkoliriv-ta-yoho-vplyv-na-rozumovu-pratsездatnist-i-vtomu> (in Ukrainian)
10. Johnston, J. L., Fanzo, J. C., & Cogill, B. (2014). Understanding Sustainable Diets: A Descriptive Analysis of the Determinants and Processes That Influence Diets and Their Impact on Health, Food Security, and Environmental Sustainability. *Advances in Nutrition*, 5 (4), 418-429. <https://doi.org/10.3945/an.113.005553>
11. Katz, D. L., & Meller, S. (2014). Can We Say What Diet Is Best for Health? *Annual Review of Public Health*, 35 (1), 83-103. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182351>
12. Malisova, O., Vlassopoulos, A., Kandyliari, A., Panagodimou, E., & Kapsokefalou, M. (2021). Dietary Intake and Lifestyle Habits of Children Aged 10-12 Years Enrolled in the School Lunch Program in Greece: A Cross Sectional Analysis. *Nutrients*, 13 (2), 493. <https://doi.org/10.3390/nu13020493>
13. Martone, D., Roccaldo, R., Censi, L., Toti, E., Catasta, G., D'Addesa, D., Carletti, C., Censi, L., D'Addesa, D., D'Amicis, A., Angelini, V., Bevilacqua, N., Catasta, G., Fabbri, I., Galfo, M., Martone, D., Roccaldo, R., Toti, E., Spinelli, A., Spizzichino, L. (2013). Food consumption and nutrient intake in Italian schoolchildren: results of the ZOOM8 study. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64 (6), 700-705. <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.775226>
14. Moreno, L., Sarria, A., & Popkin, B. (2002). The nutrition transition in Spain: a European Mediterranean country. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56 (10), 992-1003. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601414>
15. Pro zatverdzhennia Hiihienichnykh vymoh do vyrobnytstva ta obihu kharchovykh produktiv na potuzhnostiakh, rozdashovanykh u zakladakh zahalnoi serednoi osvity, Nakaz Ministerstva rozvytku ekonomiky, torhivli ta silskoho hospodarstva Ukrainy № 2532 (2021) [On the approval of Hygienic requirements for the production and circulation of food products at facilities located in general secondary education institutions, Order of the Ministry of Economic Development, Trade and Agriculture of Ukraine No. 2532] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1275-20#Text> (in Ukrainian).
16. Pro zatverdzhennia norm ta Poriadku orhanizatsii kharchuvannia u zakladakh osvity ta dytiachykh zakladakh ozdorovlennia ta vidpochnyku, Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy № 305 (2023) [On the approval of norms and the

Procedure for the organization of meals in educational institutions and children's health and recreation institutions, Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 305] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/305-2021-n#Text> (in Ukrainian).

17. Pro zatverdzhennia Sanitarnoho rehlementu dlia zakladiv zahalnoi serednoi osvity, Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy № 2205 (2022) [On the approval of the Sanitary Regulations for general secondary education institutions, Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 2205]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1111-20#Text> (in Ukrainian).

18. Pryadko, O., Butenko, A., & Tkachuk, V. (2021). Analiz ratsionu shkilnoho kharchuvannia [Analysis of the nutritional value of school food]. *Tovaroznavchyi visnyk*, 1(14), 58–64. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2021-14-6> (in Ukrainian)

19. Reforma shkilnoho kharchuvannia: rozbyraemo osnovni zminy – Nakypilo. [Reform of school nutrition: we analyze the main changes]. URL: <https://nakipelo.ua/ru/foodschoo> (in Ukrainian)

20. Rezultaty opytuvannia: zadovolenist batkiv ta uchniv shkilnym kharchuvanniam [Pres-reliz]. (2020). [Survey results: parents' and schoolchildren's satisfaction with school nutrition] Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/2020/09/14/Rezultaty%20opytuvannia%20KHARCHUVANNYAM.pdf> (in Ukrainian)

21. Ribal, J., Fenollosa, M. L., García-Segovia, P., Clemente, G., Escobar, N., & Sanjuán, N. (2015). Designing healthy, climate friendly and affordable school lunches. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21 (5), 631-645. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0905-8>.

22. Rojas, A., Valley, W., Mansfield, B., Orrego, E., Chapman, G. E., & Harlap, Y. (2011). Toward Food System Sustainability through School Food System Change: Think & Eat Green@School and the Making of a Community-University Research Alliance. *Sustainability*, 3 (5), 763-788. <https://doi.org/10.3390/su3050763>

23. Rossi, L., Ferrari, M., Martone, D., Benvenuti, L., De Santis, A. (2021). The Promotions of Sustainable Lunch Meals in School Feeding Programs: The Case of Italy. *Nutrients*, 13 (5), 1-3. <https://doi.org/10.3390/nu13051571>

24. Rozpochala robotu platforma pro zdorove kharchuvannia u shkolakh «Znaimo» [Pres-reliz]. (2021). [The platform on healthy eating in schools «Znaimo» has started work] Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/rozpochala-robotu-platforma-pro-zdorove-harchuvannia-u-shkolah-znayimo> (in Ukrainian)

25. Sánchez-Villegas, A., Bes-Rastrollo, M., Martínez-González, M. A., & Serra-Majem, L. (2005). Adherenceto a Mediterranean dietary pattern and weight gain in a follow-up study: the SUN cohort. *International Journal of Obesity*, 30 (2), 350-358. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803118>

26. Skapa, T. V. (2021). Pryntsyypovi zminy, shcho zaprovadzhue reforma kharchuvannia [Pres-reliz] [Fundamental changes that introduces the nutritional reform]. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. URL: [https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/2021/23.04/Pryntsyypovi%20zminy\\_shcho%20zaprovadzhuye%20reforma%20kharchuvannia\\_Tetyana%20Skapa.pdf](https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/2021/23.04/Pryntsyypovi%20zminy_shcho%20zaprovadzhuye%20reforma%20kharchuvannia_Tetyana%20Skapa.pdf) (in Ukrainian)

27. Skurykhyn, Y. M., & Volharev, M. N. (Red.). (1987). Khymycheskyi sostav pyshchevykh produktov: Kn. 1. Spravochnye tablytsy soderzhanyia osnovnykh pyshchevykh veshchestv y enerhetycheskoi tsennosti pyshchevykh produktov, 2-e yzd., pererab. y dop. [Chemical composition of food products: Book. 2. Reference tables for the content of basic nutrients and energy value of food products]. Moscow: Ahropromyzzdat.

28. Smith, S. L., & Cunningham-Sabo, L. (2013). Food choice, plate waste and nutrient in take of elementary- and middle-school students participating in the US National School Lunch Program. *Public Health Nutrition*, 17 (6), 1255-1263. <https://doi.org/10.1017/s1368980013001894>.

29. Sobko, A., & Peresichna, S. (2022). Elaborating and Implementing Scientifically Reasonable School Breakfasts. *Restaurant and hotel consulting. Innovations*, 5 (1), 110-130. <https://doi.org/10.31866/2616-7468.5.1.2022.260885>.

30. Svystun T. V., Lianna A. S. (2017). Doslidzhennia rynku hromadskoho kharchuvannia ukrainy na prykladi orhanizatsii kharchuvannia shkoliariv [Study catering market of Ukraine on the example of the organization of school nutrition]. *Food Industry Economics*. T. 9, № 1. <https://doi.org/10.15673/fie.v9i1.482> (in Ukrainian)

31. Tekhnologichni karty strav ta vyrobiv dlia kharchuvannia ditei vikom vid 6 do 18 rokiv u zakladakh osvity, dytiachykh zakladakh ozdorovlennia ta vidpochynku ta dytiachykh zakladakh sfery sotsialnoho zakhystu (Naukovyi zvit sanitarno-epidemiologichnoi otsinky proiektu tekhnologichnoi dokumentatsii № 8.2/2469 vid 06.09.2021 r.) [Technological maps of dishes and products for the nutrition of children aged 6 to 18 years in educational institutions, children's rehabilitation and recreation institutions, and children's institutions in the field of social protection (scientific report of the sanitary-epidemiological assessment of the technological documentation project No. 8.2/2469 dated 09/06/2021)]. (2021). Derzhavna ustanova "Instytut hromadskoho zdorovia im. O.M.Marzeieva AMN Ukrainy". URL: <https://znaimo.gov.ua/media/tehc/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%20%D1%82%D0%B0%D0%20%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B8.pdf> (in Ukrainian)

32. Thorsen, A. V., Lassen, A. D., Andersen, E. W., Christensen, L. M., Biloft-Jensen, A., Andersen, R., Damsgaard, C. T., Michaelsen, K. F., & Tetens, I. (2015). Plate waste and intake of school lunch based on the new Nordic diet and on packed lunches: a randomised controlled trial in 8- to 11-year-old Danish children. *Journal of Nutritional Science*, 4. <https://doi.org/10.1017/jns.2015.3>.

33. Top-3 problemy shkilnoho kharchuvannia v Ukraini – Natsionalna asotsiatsiia hromadskoho kharchuvannia (2021). [The top 3 problems of school nutrition in Ukraine – National Foodservice Association]. <https://nfa.org.ua/top-3-problemy-shkilnogo-harchuvannia-v-ukraini/> (in Ukrainian)

34. Trichopoulou, A., Costacou, T., Bamia, C., & Trichopoulos, D. (2003). Adherence to a Mediterranean Diet and Survival in a Greek Population. *New England Journal of Medicine*, 348 (26), 2599-2608. <https://doi.org/10.1056/nejmoa025039>.



35. Tur, J. A., Serra-Majem, L., Romaguera, D., & Pons, A. (2004). Does the diet of the Balearic population, a Mediterranean type diet, still provide adequate antioxidant nutrient intakes? *European Journal of Nutrition*, 44 (4), 204-213. <https://doi.org/10.1007/s00394-004-0512-0>.
36. UN General Assembly, *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, 21 October 2015, A/RES/70/1, available at: <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html>
37. Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., DeVries, W., MajeleSibanda, L., Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems *The Lancet*, 393 (10170), 447-492. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)31788-4)
38. Znaimo. (b. d.). znaimo: Platforma pro zdorove shkilne kharchuvannia. [Znaimo: platform about healthy school nutrition]. <https://znaimo.gov.ua> (in Ukrainian)

**Chebanenko E. V.**, student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Bidiuk D. O.**, PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Marenkova T. I.**, Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Improvement of legume dishes for school meals and prospects for their introduction into school menus**

Studies of the organization of school meals in Ukraine revealed a number of significant problems that became the basis for the global reform of the school meal system in 2020. Today, the improvement of the school nutrition system in Ukraine is aimed at fostering culture and correct eating habits, strengthening health, harmonious physiological development of the child and is carried out in accordance with the National Strategy for the development of a safe and healthy educational environment in the New Ukrainian School. This becomes possible thanks to an integrated approach in this area, which takes into account medical, legal, social, financial and technological aspects.

However, the gradual implementation of the reform showed that dissatisfaction with school meals of children and their parents still exists. This especially applies to the group of dishes from legumes, which, on the one hand, are an important component of the diet due to their high nutritional and biological value and must be included once a week in the school menu, and on the other hand, are the least popular among schoolchildren.

According to our observations, the problem of refusal of schoolchildren to consume dishes made from legumes and the related loss of finished products up to 92% in the form of food waste is of a systemic nature. Indirectly, this is confirmed by the discovered facts of the exclusion of legume dishes from the menus of various schools.

According to the conducted anonymous voluntary surveys of students of all age groups, we found a tendency to decrease the desire to consume legume dishes from the new four-week menu with a decrease in the age of the children, as well as the regularity of their sharply negative reaction to these dishes due to the pronounced specific smell and taste of the main raw materials. Based on this, we have proposed new approaches in the preparation of dishes from legumes. They included the creation of culinary products with raw materials, organoleptic indicators, appearance, presentation, and brand name that would not have associations with legumes.

The result of research and practice were two improved dishes – "Magic Falafel" and "Banana Fireworks", which received the highest rating during the tasting by schoolchildren. The first was falafel made from boiled chickpeas with the use of a wide range of spices and herbs, and the second was fritters made from beans with the addition of banana and dried apricots.

A project of technological cards and a HACCP plan for introducing new dishes into the school menu were developed for the new dishes. Calculations of the expected economic effect proved that the introduction of improved meals will allow more effective use of state funding due to a reduction of losses by 75% per year from one school (on the example of KU SSSH I-III degrees №29, Sumy). At the same time, reducing the number of uneaten meals in the form of food waste by 3,390 kg per year will contribute to reducing the negative impact on the environment.

**Key words:** balanced school nutrition, legume-based dishes, school nutrition reform, dietary culture.

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КРОНШТЕЙНИ

Чишак Олаф

доктор технічних наук, професор

Познанський технологічний університет, м. Познань, Польща

ORCID: 0000-0002-0877-5797

olaf.ciszak@put.poznan.pl

Колос Віталій Олександрович

аспірант

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-3518-7146

v.kolos@tmvi.sumdu.edu.ua

Останні тенденції в галузі машинобудування свідчать про те, що в конкурентному середовищі виробники намагаються скоротити час виходу продукції на ринок, у той час як складність виготовлення, вимоги до її точності та якості постійно зростають. У зв'язку з цим актуальним є впровадження гнучких верстатних пристроїв, які забезпечують швидке переналагодження деталей на різні розміри в межах конкретних конструктивно-технологічних особливостей заготовок. Збільшення номенклатури продукції на сучасних машинобудівних підприємствах потребує частих переналагоджень виробництва для оброблення чергової партії деталей, що викликає питання щодо економічної доцільності проектування та виготовлення спеціальних верстатних пристроїв для деталей конкретного розміру (Bi et al., 2008).

Постійне оновлення номенклатури деталей за рахунок незначних конструкційних змін, а також малих розмірів партій роблять тему проектування, моделювання та виготовлення гнучких верстатних пристроїв актуальною та своєчасною. Підвищення гнучкості та розширення технологічних можливостей верстатних пристроїв, скорочення підготовчо-заключного часу на їх переналагодження, а отже, підвищення ефективності роботи металорізальних верстатів забезпечується розробкою та впровадженням швидко переналагоджувальних функціональних вузлів (Ivanov, 2019).

Під час операції механічного оброблення відбувається перезакріплення заготовки та зміна схеми базування, як між технологічними операціями, так і на різних установках у межах конкретної операції, в результаті чого похибок установлення накопичуються і призводить до зниження точності взаємного розташування поверхонь оброблюваної деталі. На кожній операції механічного оброблення відбувається обов'язкова вивірка положення деталі при незмінній схемі базування, що значно збільшує непродуктивні витрати часу, а, отже, призводить до збільшення вартості деталі, що в умовах сучасного виробництва є неприпустимим.

Дослідження спрямовані на підвищення ефективності оброблення кронштейнів шляхом інтенсифікації технологічного процесу та впровадження гнучких верстатних пристроїв, які забезпечують виконання багатокординатного оброблення.

**Ключові слова:** гнучкість, технологічний процес, гнучкий верстатний пристрій, конструкторсько – технологічна класифікація

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.14>

**Вступ.** Деталі цього типу характеризуються складністю схем розташування, недостатньою доступністю інструменту, що зумовлено складним просторовим розташуванням робочих поверхонь. Тому це призводить до труднощів у реалізації багатокординатного оброблення. У зв'язку з цим актуальною є розробка верстатних пристроїв (ВП), які забезпечують необхідну доступність інструменту та проводило багатокординатне оброблення.

В одиничному та дрібносерійному виробництві, яке характерне для сучасного машинобудування, ступінь автоматизації досягався за допомогою обробних центрів з ЧПК, вбудованих в автоматизовані системи завдяки високій гнучкості та продуктивності (Ivanov & Pavlenko, 2017).

У сучасному виробництві головним завданням є протиріччя між необхідністю скорочення часу, необхідного

для проєктування та виготовлення виробів, і зростаючою складністю конструкції виробів. Сучасний світовий ринок вимагає збільшення кількості видів продукції. Тому обладнання та процеси мають бути більш гнучкими. Верстатні відіграють важливу роль у виробництві високоякісної та конкурентоспроможної продукції в багатокomпонентному виробництві. Розглянуто шляхи підвищення ефективності оброблення деталей. Впроваджено принципово нові конструкції функціональних модулів реконфігурованих модульних пристосувань для базування та кріплення заготовок. Пристосування з можливістю автоматизованого керування забезпечують розширення технологічних можливостей металорізального обладнання з ЧПК, скорочення підготовчо-заключного часу та часу на доналагодження, а отже, сприяє підвищенню ефективності планування виробництва (Arora et al., 2017).

В умовах посилення глобальної конкуренції, яка спонукає кожного виробника в галузі машинобудування докладати всіх зусиль для підвищення своєї конкурентоспроможності шляхом покращення якості продукції, скорочення часу, необхідного для виведення нових продуктів на ринок, і зниження витрат на виробництво, існує потреба у вдосконаленні методології проектування верстатних пристроїв. Проектування верстатних пристроїв - це дуже складний і трудомісткий процес, який вимагає багаторічного практичного досвіду. Використовуючи новітні досягнення в системах CAD/CAM і техніках штучного інтелекту, можна обмежити різноманітність рішень таким чином, щоб у проєкті розглядалися лише ті рішення, які дозволяють підвищити продуктивність (Oravcova, 2014).

Автоматизоване проектування верстатних є центром досліджень планування процесу та інтеграції технологій CAD/CAM. Розроблена система CAFD, де при заданні поверхонь і точок кріплення автоматично підбираються елементи кріплення під задані умови складання. Також наведено аналіз точності кріплення та проектування системи кріплення заготовки (Chuku et al., 2014).

Інновації в технології виготовлення деталей зумовлені також вимогами щодо скорочення тривалості виробничого циклу та підтримки стабільно високого рівня якості продукції у виробничих умовах. Запропоновано системний підхід до підвищення точності та функціональності багатокоординатних верстатів для прецизійного оброблення. Для більш точного моделювання та компенсації були розроблені системи корекції та моделювання помилок (KUMBHAR et al., 2013).

При дослідженні систем «ВП – заготовка» основна увага приділяється аналізу контактної взаємодії заготовки з затискними елементами верстатного пристрою. У роботі (Tadic et al., 2014) досліджено тертя між елементами ВП та заготовкою. В результаті були визначені деформації, які виникають у місцях їх контакту.

Дослідження (Liao & Hu, 2001) зосереджено на аналізі взаємодії затискних елементів ВП та заготовок за динамічного навантаження під час оброблення. Запропонований підхід дозволяє оптимізувати велику кількість вхідних параметрів, критичних для аналізу взаємодії. Результати експериментальних досліджень показали, що за певних умов затискні елементи зі сферичними наконечниками більшого радіуса забезпечують значно меншу консистенцію.

У дослідженні (Zheng et al., 2008) розроблено спрощену модель для визначення деформації між затискними елементами ВП та деталлю та скінченно-елементну модель для оцінки контактної деформації в точках контакту затискних елементів ВП та заготовки.

У роботі (Vallaruzha et al., 2002) розроблено модель для визначення стійкості заготовки під час її фіксації у ВП. У результаті було досліджено вплив різних факторів на жорсткість кріплення.

Через швидку зміну вимог ринку та короткий життєвий цикл продукту, гнучкість є однією з найважливіших характеристик автоматизованих систем, на додаток до

вартості придбання та експлуатації, гнучкість дозволяє системі адаптуватися до майбутніх вимог до продукту та виробничих процесів (Kampker et al., 2013).

**Матеріали і методи досліджень.** Жорсткі вимоги до точності та якості оброблення деталей встановлюються у сучасному машинобудівному виробництві. Оброблення деталей складної форми з різних матеріалів, що відповідають вимогам точності та якості є один із важливих напрямків у сучасному машинобудівному виробництві. Актуальним для підготовки виробництва є процес проектування ВП, так як він суттєво впливає на гнучкість та продуктивність.

На основі проблемно-орієнтованого аналізу деталей типу кронштейнів запропоновано конструкторсько-технологічну класифікацію (рис. 1), у якій враховано всі можливі конструкції кронштейнів, що можуть зустрічатися в автомобілебудуванні.

За довжиною опорних поверхонь деталі поділяють на кронштейни з довгою ( $l/d > 1$ ) і короткою ( $l/d < 1$ ) опорними поверхнями, що принципово визначає спосіб їх базування при обробці і, відповідно, дизайн світильника.

Кронштейни зазвичай мають одну або кілька основ конструкцій, паралельних або непаралельних одна одній. Базові поверхні в поперечному перерізі можуть бути круглими і некруглими, що визначає форму базових поверхонь елементів кріплення.

За вагою кронштейни поділяються на легкі (менше 1 кг), середні (1-10 кг) і важкі (більше 10 кг), які виготовляються зі сталі (наприклад, DIN C10, GS-45, GS-60, і G45), чавуну (наприклад, DIN GG15 і GG18), а також для неметалевих матеріалів, що впливає на вибір обладнання, ріжучого інструменту і призначення режимів різання при обробленні.

Залежно від призначення кронштейни поділяються на кронштейни з високою (IT 6–7), середньою (IT 8–10) і низькою (IT 11–14) точністю базових поверхонь. Виготовлення базових поверхонь з високою точністю при інших рівних умовах гарантує більш надійну і довговічну роботу кронштейна і виробу в цілому. За габаритними розмірами кронштейни поділяються на малі (менше 50×50 мм), середні (від 50×50 мм до 300×300 мм) і великі (більше 300×300 мм), що визначає габаритні розміри верстатного пристрою і необхідний робочий простір машини під час виготовлення.

Від режимів механічного оброблення, які призначені на основі стандартів, практичних рекомендацій або експериментальних досліджень, геометрії та матеріалу різальної частини різального інструменту залежить шорсткість оброблюваних поверхонь кронштейнів та зазвичай відповідає діапазону значень  $Ra = 0,8–6,3$  мкм (Ivanov & Zajac, 2018).

На основі розроблених класифікацій для складно-профільних деталей запропоновано структурні коди (рис. 2), які характеризують будь-яку з вищезазначених деталей за конструкторсько-технологічними ознаками, що містять буквено-числові позначення. Дані коди можуть бути використані у САПР ВП та інформаційно-пошукових системах із метою вибору ВП для вищезазначених деталей.

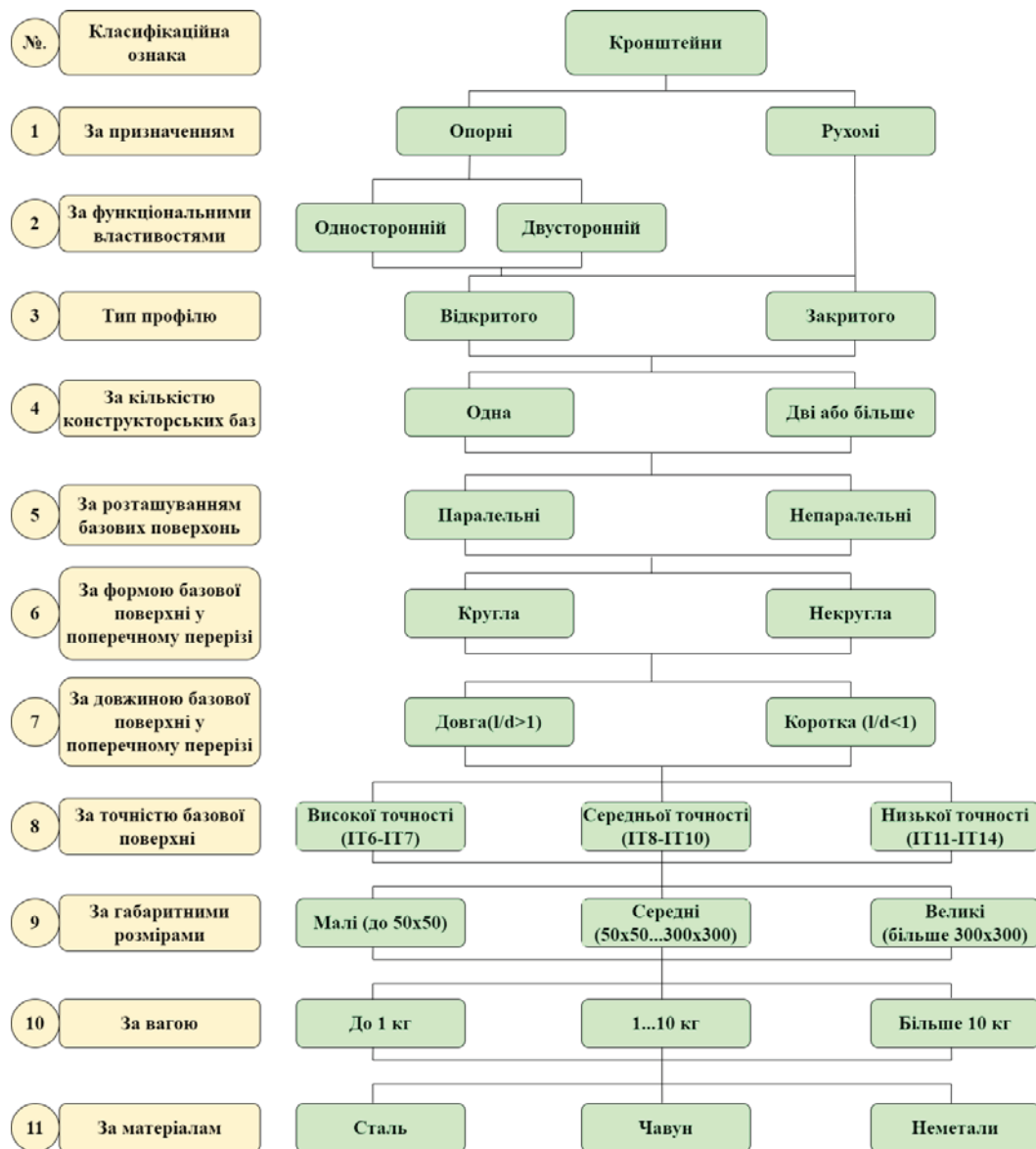


Рис. 1. Конструкторсько-технологічна класифікація деталей типу кронштейни

Враховуючи інформацію, отриману з конструкторсько-технологічної документації, структурний код у формалізованому вигляді можна представити сукупністю, що містить конструкторські ( $d\_features$ ) та технологічні ( $t\_features$ ) ознаки:

$$CODE = d\_features; t\_features. \quad (1)$$

Конструкторські ознаки, що є сукупністю класифікацій за призначенням ( $purpose$ ), функціональними властивостями ( $functional$ ), типом профілю ( $profile$ ), наявністю конструкторських баз ( $bases$ ), записують у вигляді:

$$d\_features = purpose, functional, profile, bases. \quad (2)$$

Технологічні ознаки, до яких відносять розташування базових поверхонь ( $locsurf$ ), форму базових поверхонь у поперечному перерізі ( $formsurf$ ), тип базової поверхні ( $typesurf$ ), точність базової поверхні ( $accuracy$ ),

габаритні розміри деталі ( $sizes$ ), масу ( $mass$ ), матеріал ( $material$ ), записують у вигляді сукупності:

$$t\_features = locsurf, formsurf, typesurf, accuracy, sizes, mass, material. \quad (3)$$

У формалізованому вигляді опис кронштейнів за призначенням є множиною  $purpose$ , що містить кронштейни для передачі ( $P$ ) або кронштейни спеціальні ( $S$ ). Конкретна конструкція визначається функцією  $task$ . Таким чином, опис кронштейнів за призначенням можна представити у вигляді:

$$purpose \in \{S, M\}, \quad (4)$$

$$task \in \{support, moving\}, \quad (5)$$

$$purpose = f(task) = \begin{cases} S, & \text{якщо } task = support \\ M, & \text{якщо } task = moving. \end{cases} \quad (6)$$



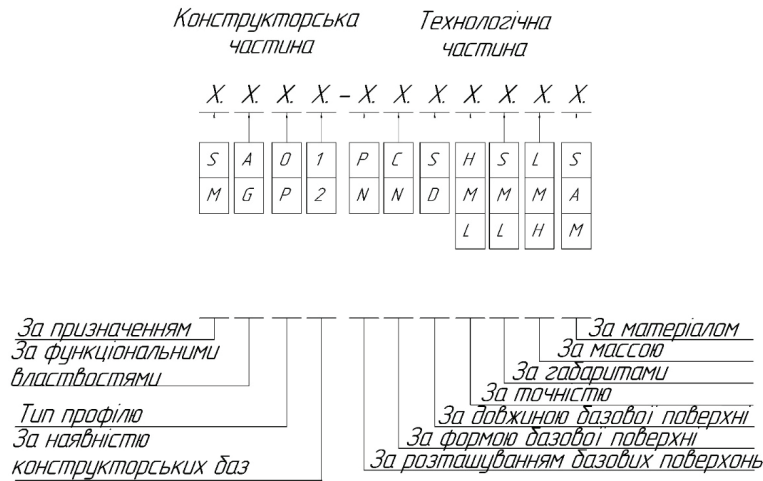


Рис. 2. Структура конструкторсько-технологічного коду деталей типу кронштейнів

Функціональні властивості кронштейна описується множиною *functional*, що відповідає значенню «односторонній» (*U*), «двусторонній» (*T*), що відповідають значенням множині *function*:

$$functional \in \{U, T\} \quad (7)$$

$$function \in \{assembly, guide, unilateral, two sided\}, \quad (8)$$

$$functional = f(type) = \begin{cases} U, \text{ якщо } type = unilateral, \\ T, \text{ якщо } type = two side \end{cases} \quad (9)$$

Тип профілю кронштейна описується множиною *profile*, що відповідає значенню «відкритий» (*O*), «закритий» (*C*), що відповідають значенням множині *form*:

$$profile \in \{O, C\} \quad (9)$$

$$form \in \{open, close\}, \quad (10)$$

$$profile = f(type) = \begin{cases} O, \text{ якщо } type = open, \\ C, \text{ якщо } type = close, \end{cases} \quad (11)$$

Кількість конструкторських баз *ddatums* може бути одним із значень множини *datums*:

$$ddatums \in \{1, 2\}. \quad (12)$$

При кількості конструкторських баз 2 базові поверхні можуть бути паралельними (*parallel*) або непаралельними (*nonparallel*), що відповідають значенням множині *location*:

$$locsurf \in \{P, N\} \quad (13)$$

$$location \in \{parallel, nonparallel\}, \quad (14)$$

$$locsurf = f(location) = \begin{cases} P, \text{ якщо } location = parallel, \\ N, \text{ якщо } location = nonparallel. \end{cases} \quad (15)$$

Форма базової поверхні у поперечному перерізі описується одним із значень множини *formsurf*, що відповідають значенням множині *cross*:

$$formsurf \in \{C, N\} \quad (16)$$

$$cross \in \{circular, noncircular\}, \quad (17)$$

$$formsurf = f(cross) = \begin{cases} C, \text{ якщо } cross = circular, \\ N, \text{ якщо } cross = noncircular, \end{cases} \quad (18)$$

Точність базової поверхні деталі описується множиною *accuracy*, що відповідає значенню «висока точність» (*H*), «середня точність» (*M*) або «низька точність» (*L*), та визначається значенням діапазону квалітетів точності (*qclass*):

$$accuracy \in \{H, M, L\} \quad (19)$$

$$qclass \in \{6...7, 8...10, 11...14\}, \quad (20)$$

$$accuracy = f(qclass) = \begin{cases} H, \text{ якщо } qclass = 6...7, \\ M, \text{ якщо } qclass = 8...10, \\ L, \text{ якщо } qclass = 11...14. \end{cases} \quad (21)$$

Габаритні розміри деталі описують множиною *sizes*, що відповідає значенням «малі» (*S*), «середні» (*M*), «великі» (*L*), та визначається множиною *dimensions*, де відображені діапазони розмірів деталей:

$$sizes \in \{S, M, L\} \quad (22)$$

$$dimensions \in \{0...50, 50...300, 300...1000\}, \quad (23)$$

$$sizes = f(dimensions) = \begin{cases} S, \text{ якщо } dimensions = 0...50, \\ M, \text{ якщо } dimensions = 50...300, \\ L, \text{ якщо } dimensions = 300...1000. \end{cases} \quad (24)$$

Маса деталі описується множиною *mass*, що відповідає значенню «легкі» (*L*), «середні» (*M*), «важкі» (*H*), та визначається величиною одного з діапазонів мас деталей, що належить множині *weight*:

$$mass \in \{L, M, H\} \quad (25)$$

$$weight \in \{0...1, 1...10, 10...100\}, \quad (26)$$

$$mass = f(weight) = \begin{cases} L, \text{ якщо } weight = 0...1, \\ M, \text{ якщо } weight = 1...10, \\ H, \text{ якщо } weight = 10...1000. \end{cases} \quad (27)$$

Матеріал деталей належить до множини *material* та може бути сталь (*S*), алюмінієві сплави (*A*), неметал (*M*), що зазначено у конструкторсько-технологічній документації:

$$material \in \{S, C, F, M\} \quad (28)$$

$$matype \in \{steel, castiron, nonmet\}, \quad (29)$$

$$material = f(matype) = \begin{cases} S, \text{ якщо } matype = steel, \\ C, \text{ якщо } matype = castiron, \\ M, \text{ якщо } matype = nonmet. \end{cases} \quad (30)$$

На основі аналізу виявлена конфігурація деталі (рис. 3), яка найбільш поширена у виробах, а саме в кріпленні коліс.

Кронштейн даної конструкції входить у транспортний засіб будь-якого призначення, будь то легковий чи вантажний автомобіль, трактор чи автобус, та може відрізнятися лише типорозмірами та незначною зміною форми.



Рис. 3. Конструкція деталі типу кронштейни

Більшість деталей типу кронштейнів мають складну геометричну форму, що створює певні труднощі при базуванні та закріпленні заготовок на операціях механічного оброблення. Для встановлення заготовок застосовуються спеціальні або гнучкі ВП (як правило, універсально-збірні пристрої) (Wan et al., 2013), що забезпечує задану точність оброблення поверхонь, але збільшує трудомісткість і вартість виготовлення. Таким чином, актуальним є аналіз типового ТП виготовлення кронштейнів та виявлення можливості для оптимізації ТП з урахуванням сучасних тенденцій у механічному обробленні, а також функціонально-технологічних можливостей сучасного обладнання.

На всіх операціях механічного оброблення здійснюється переустановка заготовки зі зміною схеми базування, як між операціями, так і на різних установах у межах конкретної операції, що призводить до накопичення похибок установа в цілому, та як наслідок зниження точності взаємного розташування поверхонь деталі. При обробленні на кожній операції проводиться обов'язкова вивірка положення деталі при аналогічній схемі базування, що призводить до суттєвого збільшення допоміжного часу, а, отже, збільшенню собівартості деталі, що в умовах сучасного виробництва неприпустимо.

Для базування та закріплення заготовки на операції 15 необхідно підготувати бази. Для базування будуть використані внутрішні циліндричні поверхні та торець (рис. 4).

Для зменшення кількості операцій, переустановлень та допоміжного часу об'єднаємо операції 20-40 типового ТП в операцію 15 «Комплексна операція на оброблюваному центрі з ЧПК» типового ТП (рис. 5). Це дає можливість обробити усі свердлильно-фрезерно-розточувальні операції за один установ.

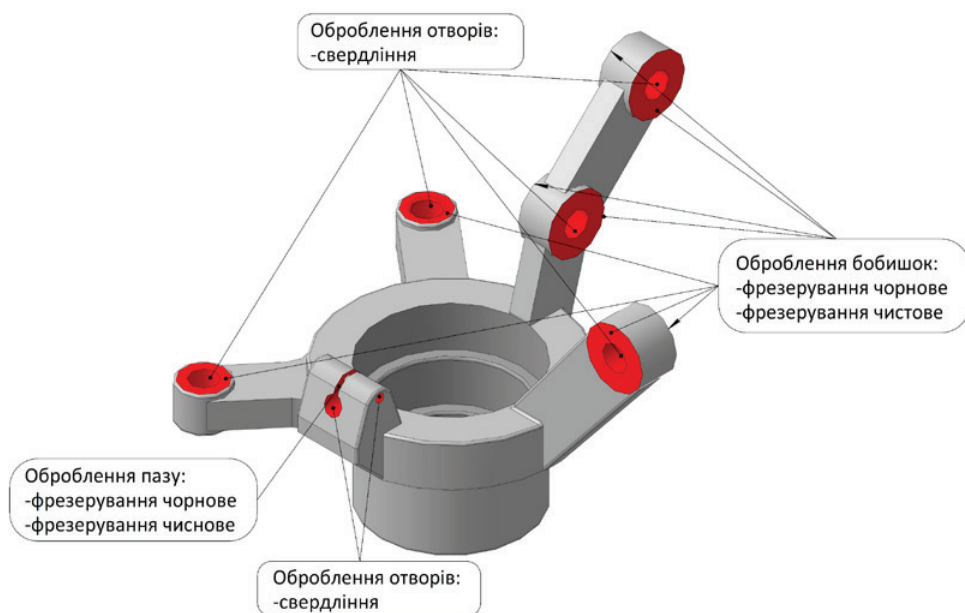
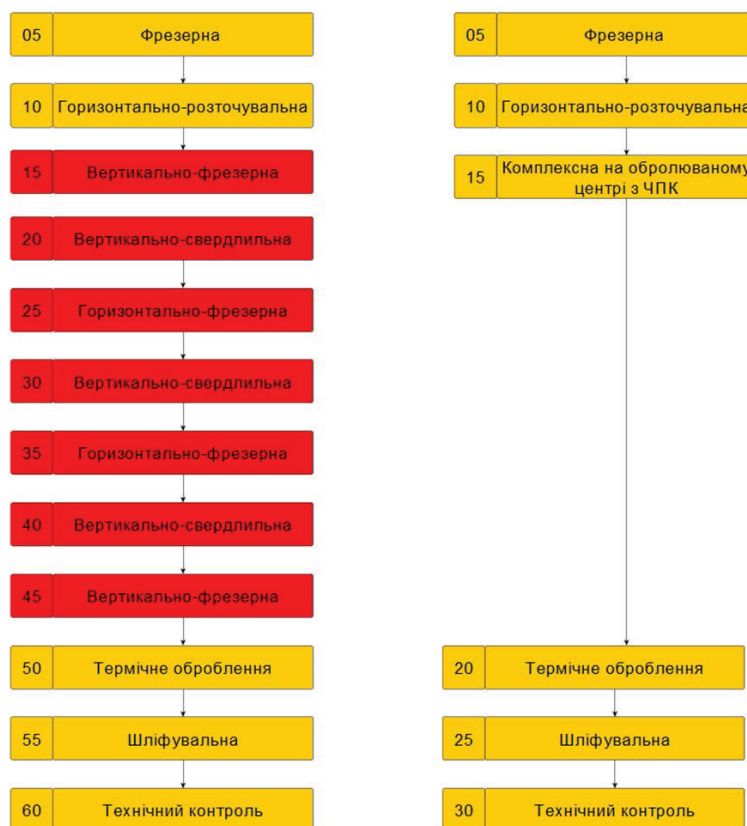


Рис. 4. Поверхні кронштейна, що підлягають обробленню



**Рис. 5. Порівняння маршрутів оброблення деталі «Кронштейн»:  
а – типовий ТП; б – запропонований ТП**

Інші операції типового ТП, що включають термічне оброблення, шліфувальну операції не є доцільним змінювати або об'єднувати, оскільки це різні та несумісні з іншими методи оброблення.

**Результати.** З діаграм, які побудовані на основі проведених розрахунків норм часу, можна зробити висновки:

- так як для механічного оброблення використовуються однієї ті самі режими різання і різальні інструменти відповідно основний час однаковий як для типового так і для запропонованого ТП;
- у зв'язку з більшою кількістю в типовому ТП установлень і перестановлень деталі при переході від однієї операції до іншої то допоміжний час для запропонованого ТП є менший;
- кількість операцій механічного оброблення та робочих місць більше в типовому ТП відповідно норма допоміжного часу більше;
- штучний час на операцію механічного оброблення однієї деталі в запропоновану ТП менший ніж у типовому ТП, оскільки складається з попередніх норм часу, окрім підготовчо-завершальної складової.

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що для запропонованого ТП майже всі норми часу менші ніж для типового ТП, так як менша кількість операцій механічного оброблення та допоміжних переходів. Отже, варто розглядати можливість скорочення кількості операцій механічного оброблення та допоміжних переходів на встановленні та переустановлення

деталей завдяки використанню прогресивного сучасного металорізального обладнання в поєднанні з гнучкими ВП, що забезпечують максимально можливу інструментальну доступність.

З отриманих даних основний час запропонованого ТП в 2,5 рази більше ніж типового, допоміжний час в 1.5 рази запропонованого ТП менше ніж в типовому ТП, що свідчить про підвищення продуктивності виготовлення деталей та зменшення витрат часу на базування та закріплення деталей.

**Висновки.** Розроблено конструкторсько-технологічну класифікацію деталей типу кронштейни, що включає в себе конструкторські та технологічні ознаки та визначений типовий представник деталей даного класу, що дозволяє створити передумови для систематизації та обґрунтованого опису деталей типу кронштейни. На основі розробленої конструкторсько-технологічної класифікації створено методику кодування деталей типу кронштейнів, яка забезпечить пошук відповідних конструкцій ВП в інформаційно-пошукових системах.

Обґрунтовано, що в сучасних умовах машинобудування необхідно прагнути до інтенсифікації процесів механічного оброблення, на підставі цього запропонований новий технологічний процес, що дозволяє суттєво скоротити витрати допоміжного та додаткового часу, зокрема у 2,5 рази і 1,5 рази відповідно. При цьому частка основного часу у структурі норми часу збільшилася з 21% до 57% відповідно для типового

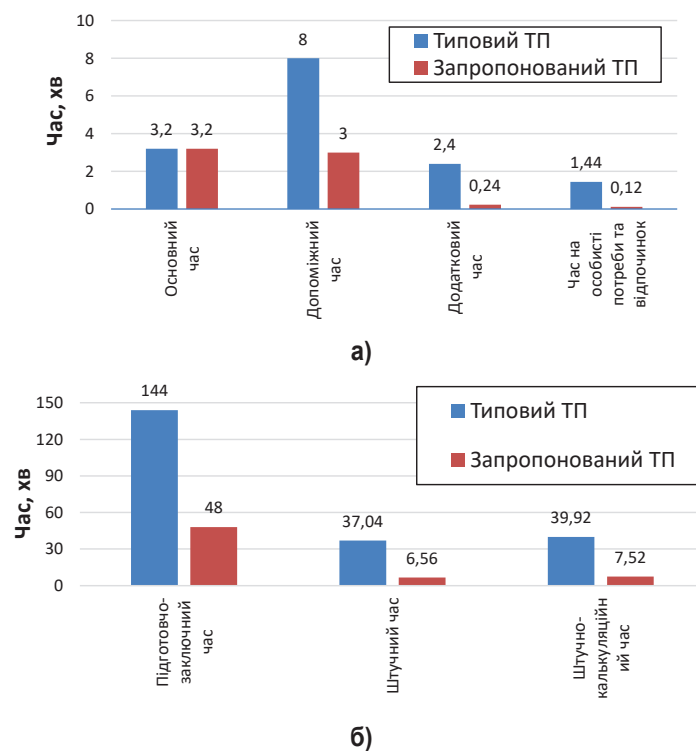


Рис. 6. Норми часу: а – на переходи, що виконуються для кожної деталі; б – на партію деталей

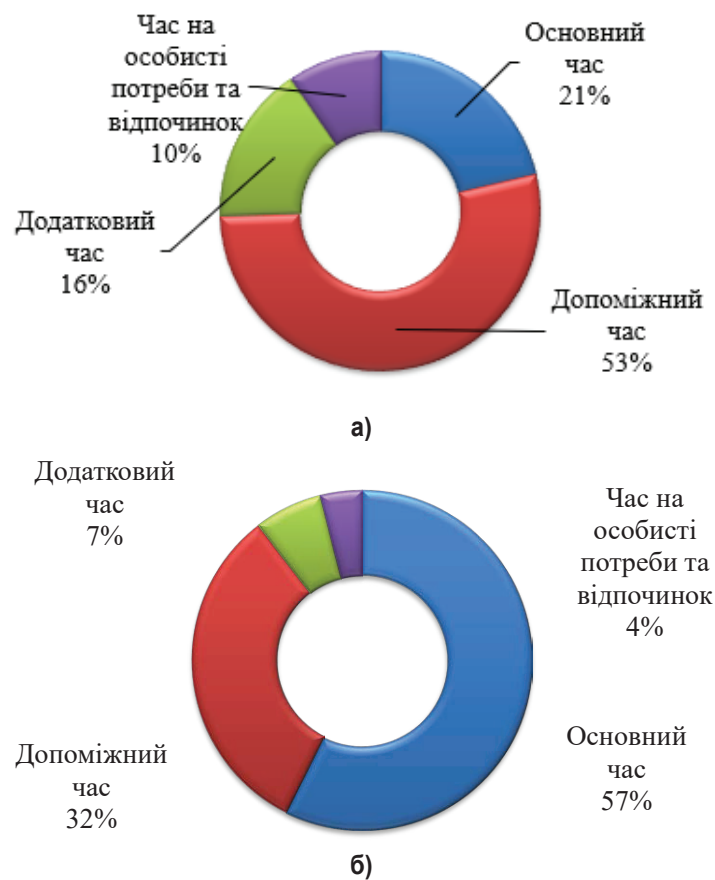


Рис. 7. Норми часу у відсотках: а – типовий ТП ; б – запропонований ТП



і запропонованого технологічних процесів, що свідчить про збільшення продуктивності виготовлення деталей та зменшення витрат часу, пов'язаних із базуванням та закріпленням деталей.

Дослідження виконано в рамках виконання українсько-словацького науково-дослідного проекту «Удосконалення технологічної підготовки виробництва за

рахунок автоматизації процесу проектування верстатних пристроїв» (ДР № 0122U002657, № 0123U103320, Міністерство освіти і науки України) та НДР «Інтенсифікація виробничих процесів та розробка інтелектуальних систем контролю якості продукції в інтелектуальному виробництві» (ДР № 0122U200875, Міністерство освіти і науки України).

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Bi, Z. M., Lang, S. Y. T., Verner, M., & Orban, P. (2008). Development of reconfigurable machines. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(11–12). <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1288-1>
2. Ivanov, V. (2019). Process-oriented approach to fixture design. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_5)
3. Ivanov, V., Pavlenko, I. (2017). Comprehensive analysis of the mechanical system system “fixture –workpiece”. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 4(1), pp. A1–A10 (2017), [https://doi.org/10.21272/jes.2017.4\(1\).a1](https://doi.org/10.21272/jes.2017.4(1).a1).
4. Arora, M., Luan, S., Thurston, D. L., & Allison, J. T. (2017). Hybrid procedure-based design strategies augmented with optimization. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 2A-2017. <https://doi.org/10.1115/DETC2017-68348>
5. Oravcova, J. (2014). The methodical procedure for designing of clamping jaws. *Applied Mechanics and Materials*, 693. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.693.44>
6. Chuku, E.A., Jack, T.K., Nwosu, H.U.: Computer applications in mechanical engineering education-Case 2: Helical gear design and analysis with Visual Basic. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Vol. 11(10), pp. 470–481 (2014).
7. KUMBHAR, N. M., PATIL, G. S., MOHITE, S. S., & SUTAR, M. A. (2013). FINITE ELEMENT MODELLING AND ANALYSIS OF WORKPIECE-FIXTURE SYSTEM. *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.47893/ijarme.2013.1087>
8. Tadic, B., Vukelic, D., Miljanic, D., Bogdanovic, B., Macuzic, I., Budak, I., & Todorovic, P. (2014). Model testing of fixture-workpiece interface compliance in dynamic conditions. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1). <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.05.004>
9. Liao, Y. G., & Hu, S. J. (2001). An integrated model of a fixture-workpiece system for surface quality prediction. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17(11). <https://doi.org/10.1007/s001700170108>
10. Zheng, Y., Rong, Y., & Hou, Z. (2008). The study of fixture stiffness part I: A finite element analysis for stiffness of fixture units. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(9–10). <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0908-5>
11. Vallapuzha, S., de Meter, E. C., Choudhuri, S., & Khetan, R. P. (2002). An investigation of the effectiveness of fixture layout optimization methods. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(2). [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(01\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(01)00114-6)
12. Kampker, A., Burggräf, P., Wesch-Potente, C., Petersohn, G., & Krunke, M. (2013). Life cycle oriented evaluation of flexibility in investment decisions for automated assembly systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6(4). <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2013.07.004>
13. Ivanov, V., & Zajac, J. (2018). Flexible Fixtures for CNC Machining Centers in Multiproduct Manufacturing. *EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*, 4(12). <https://doi.org/10.4108/eai.10-1-2018.153552>
14. Wan, N., Wang, Z., & Mo, R. (2013). An intelligent fixture design method based on smart modular fixture unit. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(9–12). <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5134-3>

**Ciszak O.**, Doctor of Engineering, Professor, Poznan University of Technology, Poznan, Poland

**Kolos V. O.**, PhD student, Sumy State University, Sumy, Ukraine

#### **Intensification of the technological process of processing bracket-type details**

*The latest trends in the field of mechanical engineering indicate that in a competitive environment, manufacturers are trying to reduce the time to market, while the complexity of manufacturing, the requirements for its accuracy and quality are constantly increasing. In this regard, the introduction of flexible machine tools that provide quick readjustment of parts to different sizes within the specific structural and technological features of the workpieces is urgent. The increase in the range of products at modern machine-building enterprises requires frequent adjustments of production to process the next batch of parts, which raises questions about the economic feasibility of designing and manufacturing special machine tools for parts of a specific size (Bi et al., 2008).*

*Constant updating of the nomenclature of parts due to minor design changes, as well as small batch sizes make the topic of designing, modeling and manufacturing of flexible machine tools relevant and timely. Increasing the flexibility and expanding the technological capabilities of machine tools, reducing the preparatory and final time for their reconfiguration, and therefore, increasing the efficiency of metal-cutting machines is ensured by the development and implementation of quickly reconfigurable functional units (Ivanov, 2019).*

*During the machining operation, the workpiece is re-fixed and the base scheme is changed, both between technological operations and at different facilities within a specific operation, as a result of which the installation error accumulates and leads to a decrease in the accuracy of the relative location of the surfaces of the processed part. At each machining operation, a mandatory check of the position of the part takes place with an unchanged base scheme, which significantly*

*increases unproductive time costs, and, therefore, leads to an increase in the cost of the part, which is unacceptable in the conditions of modern production.*

*Research is aimed at improving the efficiency of processing brackets by intensifying the technological process and introducing flexible machine tools that ensure multi-coordinate processing.*

**Key words:** *flexibility, technological process, flexible fixture, design-technological classification*