

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 (51), 2023

## ЗМІСТ

<b>Редакційна колегія серії</b> <b>Зубко В.М.</b> , доктор технічних наук, головний редактор, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Тарельник В.Б.</b> , доктор технічних наук, професор, заступник головного редактора, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Думанчук М.Ю.</b> , кандидат технічних наук, відповідальний секретар, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Антошевський Богдан</b> , доктор технічних наук, Кельцький технологічний університет (Польща) <b>Кундера Чеслав</b> , доктор технічних наук, професор, Кельцький технологічний університет (Польща) <b>Кирик Г.В.</b> , доктор технічних наук, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Лобода В.Б.</b> , кандидат фізико-математичних наук, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Коноплянченко Є.В.</b> , кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Гапонова О.П.</b> , доктор технічних наук, професор, Сумський державний університет (Україна) <b>Хінек Рубік</b> , кандидат технічних наук, Чеський університет наук про життя (Чехія) <b>Девід Херак</b> , кандидат технічних наук, Чеський університет наук про життя (Чехія) <b>Шуляк М.Л.</b> , доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Харченко С.О.</b> , доктор технічних наук, професор, Полтавський державний аграрний університет (Україна) <b>Лебедєв А.Т.</b> , доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Соларьов О.О.</b> , кандидат технічних наук, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Роговський І.Л.</b> , доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна) <b>Оничко В.І.</b> , кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Мельник А.В.</b> , доктор сільськогосподарських наук, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Троценко В.І.</b> , доктор сільськогосподарських наук, професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Перцевой Ф.В.</b> , доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Сабадаш С.М.</b> , кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Мазуренко І.К.</b> , доктор технічних наук, старший науковий співробітник, академік Академії вищої освіти України, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Сильчук Т.А.</b> , доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій (Україна) <b>Мельник О.Ю.</b> , кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Бо Лі</b> , доктор філософії, професор, Хенанський інженерно-дослідний центр переробки фруктів і овочів та контролю безпеки якості Хенанського науково-технічного інституту (Китай) <b>Паван Кумар</b> , доктор філософії (тваринництво), Науковий університет, Університет ветеринарії та тваринництва Гуру Ангада Дев (Малайзія) <b>Бондаренко Ю.В.</b> , кандидат технічних наук, Національний університет харчових технологій (Україна) <b>Самілік М.М.</b> , кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) <b>Назаренко Ю.В.</b> , кандидат технічних наук, Сумський національний аграрний університет (Україна)	<b>Mazurenko I., Koshel O., Marenkova T., Shkaraputa R.</b> Properties and application of modified starches in food production..... <b>3</b> <b>Болгова Н. В., Самохіна Є. А.</b> Дослідження показників якості кисломолочних напоїв з використанням борошна кіноа..... <b>9</b> <b>Болгова Н. В., Соловей В. І.</b> Застосування борошна кіноа в технології пшеничного хліба..... <b>14</b> <b>Головченко Г. С., Калпагуз О. М.</b> Очищення насіння цукрового буряка у похилому повітряному потоці з початковою швидкістю компонентів..... <b>19</b> <b>Єсіпов О. В., Гринь Є. Л.</b> Потенціал біогазу і біометану з органічних відходів тваринництва..... <b>26</b> <b>Зубко В. М., Хворост Т. В., Мельник В. І., Панкова О. В., Коваленко Ю. С.</b> Дослідження впливу умов проведення дискування на показник якості..... <b>30</b> <b>Кушніров П. В., Євтухов А. В., Дегтярьов І. М., Денисенко Ю. О., Басов Б. С.</b> Розширення технологічних можливостей допоміжних опор верстатних пристроїв..... <b>37</b> <b>Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Кадикало І. О., Каленіченко Б. В.</b> Оптимізація режиму руху маніпулятора з двома поступальними та однією обертальною ланками у площині зміни вильоту..... <b>44</b> <b>Майфат М. М., Тарельник В. Б., Гапонова О. П., Радіонов О. В., Тарельник Н. В.</b> Удосконалення технології припрацювання пари тертя «вкладиш підшипника – шийка валу»..... <b>53</b> <b>Панкова О. В., Сировицький К. Г., Харченко С. О., Оничко В. І., Тарельник В. Б., Думанчук М. Ю.</b> Посівні якості насіння ріпаку в залежності від обробки електромагнітним випромінюванням різних режимів як екологічний спосіб підвищення врожайності..... <b>59</b> <b>Пуховський Є. С., Приходько В. П., Гладський М. М.</b> Оброблення великогабаритних деталей гідро-пресового та гірничорудного обладнання..... <b>66</b>
--	---



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2023

Науковий журнал «Вісник Сумського національного аграрного університету» Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів» внесений до переліку наукових фахових видань України (категорії «Б») у галузі технічних наук (131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 181 «Харчові технології», 208 «Агроінженерія») на підставі Наказів Міністерства освіти і науки України № 1188 від 24.09.2020 (додаток 5) та № 491 від 27.04.2023 (додаток 3).	<b>Пуховський Є. С.</b> Оптимізація розміщення обладнання гнучких виробничих систем.....	<b>75</b>
	<b>Семірненко Ю. І., Семірненко С. П.</b> Дослідження машин для розліснення сільськогосподарських угідь за показниками якості.....	<b>82</b>
	<b>Янковський Р. В., Степанова Т. М.</b> Перспективність застосування функціональних інгредієнтів на основі культивованої грибною сировини в технології снєків.....	<b>88</b>

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

Матеріали журналу знаходяться  
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 достатньо 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 № 17 від 01.05.2023 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. № 0523/351

© Сумський національний  
аграрний університет, 2023

## PROPERTIES AND APPLICATION OF MODIFIED STARCHES IN FOOD PRODUCTION

### Mazurenko Igor

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
ORCID: 0000-0002-5309-7702  
0487222489@ukr.net

### Koshel Olena

Doctor of Philosophy, Associate Professor  
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
ORCID: 0000-0002-2184-2106  
koshelolena85@ukr.net

### Marenkova Tatyana

Senior Lecturer  
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
ORCID: 0000-0001-7481-0848  
tanya\_201@ukr.net

### Shkaraputa Roman

Master  
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
ORCID: 0009-0009-9497-1222  
roman.shkaraputa@gmail.com

*Starch is the most abundant organic compound found in nature after cellulose. The properties of native starch do not always meet the requirements for a multitude of industrial applications. Functional limitations of native starch can be overcome by modifications of physical, chemical and enzymatic methods to broaden its applications. In this article, some common chemical modifications such as esterification, etherification, crosslinking of starch, as well as dual modification of physical and chemical method or chemical and enzymatic method, have been reviewed. This article also highlighted the application of chemical modified starch in food industry.*

*The analysis of literary and Internet sources showed that among the additives used in the food industry, modified starches occupy a special place, and their use in modern food technologies as structure-forming additives allows for the creation of a wide range of products. A review of the literature showed the lack of a sufficient number of works and developments on studying the properties of modified starches and establishing the changes that occur in the starch molecule during processing.*

*Their ability to form pastes was studied, the gelatinizing ability of modified starches was studied according to the organoleptic indicators of the formed pastes.*

*The article establishes the influence of various types of modification on the crystallinity of modified starch and its properties.*

*Analysis of the nature of the diffractograms of potato starch shows that after modification, the relative degree of crystallinity generally changes due to the breaking of existing bonds, as well as the formation of new ones in the process of modification. Since the decrease in the degree of crystallinity leads to a better attack of starch by enzymes, the human body better assimilates products that have undergone the destruction process, but the use of cross-linked and oxidized starches allows you to obtain pastes of the required structure.*

**Key words:** *modified starches, chemical modification, application, drag forming ability, organoleptic indicators, the process of pasteurization.*

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.1>

**Introduction.** Starch is a natural macromolecule compound synthesized in plastids in photosynthetic and non-photosynthetic cells and is the second largest renewable resource after cellulose (Tellow & Butler, 2023, p.83-129). It has the characteristics of low price, non-toxic, degradable, modifiable, environmentally friendly, and has gradually become an important base raw material for food industry or non-food industry (Lu et al., 2013, p.9882-9821). However, due to its insolubility in cold water, poor dispersibility, poor film-

forming ability and inability to form stable adhesive systems, the practical applications of starch in textile, papermaking, pharmaceuticals, food and other industries has been greatly limited (Simi & Emilia Abraham, 2007, p.173-180). Therefore, it is necessary to improve the functional properties of starch by chemical, physical and enzymatic modification to meet the increasing application needs of people, among which chemical modification produce the most diverse and versatile types of modified starch (Chen et al., 2018, p.283-321). The

microstructure of starch is a macromolecular cyclic structure composed with glucose groups. There are a large number of alcohol hydroxyl groups in starch molecules, which can react with numerous chemical reagents to produce various types of modified starch (Zia ud et al., 2017, p.2691-2705; Wang et al., 2020b, p.116-292). Starch has been chemically modified in different ways by using chemical agents to reduce or increase the molecular weight of starch in recent years. Chemical modification is the most widely explored modification method due to the non-destructive nature of some selected processes and potential increases in the functionality of the modified starch (Masina et al., 2017, p.1226-1236).

A large number of hydroxyl groups in starch molecules provides active sites for chemical modification. Chemical modification is insertion of new functional group such as carboxyl, acetyl, hydroxypropyl, amine and amide on the starch backbone to give specific properties to the starch. Different chemical modification methods are achieved by decomposition such as acid hydrolysis and oxidation or by derivatization, such as esterification, etherification, crosslinking, and dual modification (Haq et al., 2019, p.12-35.; Lemos et al., 2021, p.218-234).

Esterification of starch refers to the conversion of hydroxyl groups in starch molecules to alkyl or aryl derivatives by inorganic or organic acids. The common esterified starch mainly includes acetate starch (Lin et al., 2017, p.316-326), phosphate starch (Sang & Seib, 2006, p. 167-175.; Ramadan & Sitohy, 2020), starch octenyl succinate (Wang et al., 2020b) etc.

The hydroxyl groups in starch molecules is etherified with reactive substances under alkaline conditions to produce etherified starch, which mainly includes hydroxypropyl starch (Wang et al., 2020a, p.131-149) and carboxymethyl starch (Zhou et al., 2018, p.1700250.; Liang et al., 2021, p.601-606).

Crosslinked starch is synthesized by strengthening intermolecular hydrogen bonds through chemical bonds that form bridges by connecting polymer chains, in which sodium trimetaphosphate (STMP), sodium tripolyphosphate (STPP), epichlorohydrin (ECH), and phosphoryl chloride (POCl<sub>3</sub>) are commonly used as crosslinking agents. (Wang et al., 2020b; Sandhu et al., 2021). The functional properties of crosslinked starch are mainly determined by the types of crosslinking agents.

Dual modification of starch involves the combination of physical and chemical modification methods or chemical and enzymatic modification methods for enhancing the functional properties of starch and improving its utilization (Haq et al., 2019, p.12-35). Chemically dual modified starches are widely used as binder, thickeners and emulsifiers in food industry, whereas it can be used as heavy metal absorbents in non-food industry (Zia ud et al., 2017, p.2691-2705). Dual modification of crosslinking and octenylsuccinylation of cassava starch had great effects on the physicochemical and emulsifying properties, which can expand its applications and make it suitable for a wider range of food products such as canned, refrigerated, and frozen foods (Sriprabloom et al., 2023).

Modified starch is widely used in food and non-food industry due to its characteristics of low gelatinization

temperature, high transparency, high solubility, good freeze-thaw stability and viscosity. With the development of food industry, the demands of chemically modified starches as chelator, cryoprotectant, drying aid, fat replacer, flavor carrier, flavor and color precursor through Maillard reactions, and substrate in fermentations are increasing (Lee & Puligundla, 2017, p.311-316). Acid-hydrolyzed starch is used as gelling agent in gum and cheese loaves, as fat replacer in low-fat ice cream due to its low past viscosity, high gel strength and water solubility, as well as used in slowly digestible cookies for rich in resistant starch (Wang & Copeland, 2015, p.1081-1097). Octenyl succinylated starch is frequently used as emulsifier in creams, salad dressings and is used as clouding agent in drinks due to its well emulsifying action, pasting properties and slow digestibility (Altuna et al., 2018, p.97-110). Using crosslinked starch as fat replacer not only has the same functionality as native starch, but also has greater emulsifying ability, lower digestibility and fewer calories (Chen et al., 2018, p.283-321). With the incorporation of crosslinked waxy maize starch for partial substitution of wheat flour, the nonfried noodles exhibited a soft texture with bright and yellow appearance (Zhou et al., 2015, p.1035-1043). Acetylated starch can meet the changing demands of food industry for its improvements in transparency, water absorption, precipitation and condensation (Lin et al., 2017, 316-326). The acetylated starch also could be applied in high concentrations than native starch for its lower swelling power and solubility, providing higher concentrations of solids (Colussi et al., 2015, p.1076-1082).

**Materials and Methods.** In the course of work, we used one sample of native starch and three samples of starches of various modifications: native potato starch – NS, cold swelling thickener - MS 1, gelling agent - MS 2, brewing thickener - MS 3.

X-ray structural studies were carried out using a DRON-3 diffractometer. From the obtained diffractograms, the degree of crystallinity was determined by the Mathews method. The drag-forming ability was determined organoleptically. A solution of starch samples was prepared and the condition of the formed jelly was analyzed: structure, consistency, color, transparency, and storage stability.

The degree of pasteurization of starch was determined by measuring the pasteurization time and pasteurization temperature.

**Results and Discussion.** Starch pasteurization is the process of starch transformation into a starch paste due to the swelling and partial dissolution of starch grains in water during heating due to the penetration of water into the hydrogen bonds between starch macromolecules. In food production, this indicator is important.

Starch polysaccharides are very labile, reactive compounds that actively interact with metal ions, acids, oxidants, and surfactants. This makes it possible to modify starch molecules - to change their ability to pasteurize. Some types of modification help to increase the solubility of starch in water, others limit swelling. The results of the study of the pasteurization process of starch pastes are presented in Table 1.

Conditions of the pasteurization process of modified starches

Sample	Initial temperature of pasteurization, °C	Time of beginning of pasteurization, τ	Time of end of pasteurization, τ	Time during which pasteurization was formed, min
NS	67-70	12.31	12.35	5
MS - 1	15-18	12.22	12.23	1
MS - 2	62-65	12.28	12.32	4
MS - 3	61-65	12.41	12.46	5

As can be seen from the table, sample MS - 1 pasteurized the fastest. Pasteurization took the longest in samples NS and MS - 3. Sample MS - 3 has a pasteurization temperature similar to that of native potato starch. This is explained by the fact that the cross-linked types of starch are characterized by a low rate of swelling and pasteurization, which creates the effect of prolonged action. Split starches due to the effect on them of high temperatures during modification are already partially pasteurized, so they swell immediately when they are introduced into water. In addition, studies have shown that the process of modification of native starch leads to a slight decrease in the temperature of pasteurization.

Starch refers to compounds that look like spherocrystals under a microscope under polarized light. This property is explained by the fact that during the growth of starch grains,

branched polysaccharide chains are oriented in the radial direction. This contributes to the formation of regions with an ordered structure characteristic of crystals, the nature of which has a significant impact on the properties of the starch polymer and depends on many factors of the nature of the polymer, the ratio of amylose and amylopectin, their molecular weight, the degree of branching, the length and conformation of external branches, as well as from the shape and size of the crystalline zones in the internal molecular lattice.

It is known that the assimilation of the product by the human body depends on the degree of crystallinity. Therefore, the ratio of crystalline and amorphous phases in the studied samples was determined using the X-ray method. The radiographs shown below showed that different modifications of starch have different crystallinity (Fig. 1).

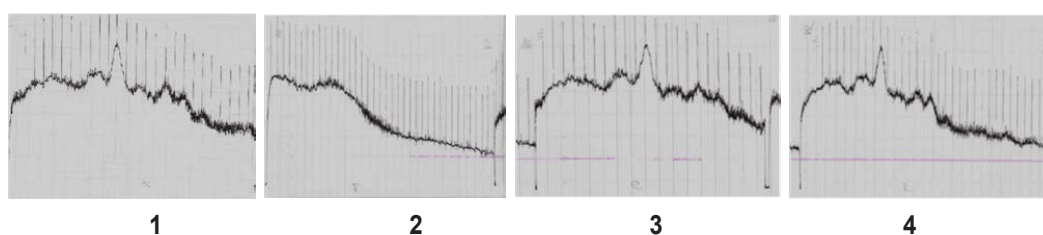


Figure 1 - Study of the crystallinity of modified starches: 1 – NS, 2- MS 1, 3 – MS 2, 4 – MS 3.

Analysis of the nature of the diffractograms of potato starch shows that after modification, the relative degree of crystallinity generally changes due to the breaking of existing bonds, as well as the formation of new ones in the process of modification. For oxidized and cross-linked starches, the degree of crystallinity increases, for swelling starches, an amorphous structure is formed.

Since a decrease in the degree of crystallinity leads to a better attack of starch by enzymes, the human body better assimilates products that have undergone the destruction process, but the use of cross-linked and oxidized starches allows you to obtain pastes of the required structure.

Another of the most important characteristics of starch, which determines the specifics of their use, is gelatinizing ability. The formation of starch jelly occurs during the cooling of starch pastes of a sufficiently high concentration, as a result of the arrangement of the structure. The properties of dragees and their strength depend on the type of starch, the duration and temperature of cooking the paste, the intensity of mixing, the presence of impurities, cooling conditions, etc. Due to the formation of gels, branched amylopectin molecules complicate the process of ordering the structure,

and linear amylose molecules tend to quickly associate and form micelles with an ordered structure.

To conduct the research, 50 cm<sup>3</sup> of distilled water and 40 ml of hot water were added to 10 g of starch in a flask. Solutions of each starch sample were pasteurized in a boiling water bath and poured into molds. After 24 hours, an organoleptic evaluation of the obtained jelly was carried out, the results of which are shown in Table 2.

The study of the organoleptic indicators of the formed jelly showed that the modification of starch leads to changes in its properties. Sample MS - 2 is able to form concentrated pastes of reduced viscosity and increased transparency. Valuable properties of pastes of this starch are high stability during storage, mixing and cooling. Such starch is produced for refrigeration (ice cream production), confectionery and bakery industry. Swellable starches include those types of starch that can swell in cold water (MC 1). The basis of obtaining such types of starch are physical transformations that lead to the destruction of starch molecules, partial or complete destruction of the structure of starch grains. Swelling potato starch is included in the recipes of dry ice cream mixes. It can also be with methylcellulose, thanks to



**Organoleptic evaluation of gelatins of modified starches**

Sample	Organoleptic assessment
NS	Forms a viscous thick paste of light gray color. Opaque. It delaminates during storage.
MS – 1	Forms a highly viscous paste. Transparent. Does not form jelly (necessary special conditions of leaving in cold water to prevent the formation of lumps).
MS – 2	Liquid transparent paste with minor film formations. They do not form dragles. It delaminates during storage. Has low viscosity at high concentrations.
MS - 3	A thick homogeneous paste of light gray color. Short-blooded, relatively transparent, smooth. Does not form sludge.

which the whippedness of the ice cream increases and the average diameter of air bubbles decreases. Cross-linked types of starch (MC 3) are characterized by a reduced rate of swelling and pasteurization, which creates the effect of prolonged action. Pastes of cross-linked types of starch are more viscous, resistant to external factors - high temperature, prolonged heating, low pH value, mechanical stress. Cross-linked starches are widely used in the production of sauces, pastes, and dairy products.

**Conclusion.** Nowadays, modification of starch is developing in the direction of multi-type, multi-compound and serialization, and modified starch can be applied in more fields in the future. The use of chemically modified starch is becoming more and more widely due to its unique properties. The study of modified starch is still a hot research field and has a very broad application prospect. Therefore, we should

continuously deepen our understanding of modified starch, determine its performance properties and utility, and apply it in more suitable fields.

Starch modification allows you to change the properties of native starch. Modified starches differ from ordinary starches by the increased final viscosity of pastes, their greater stability to mechanical actions and the acidity of the environment, as well as to high and low temperatures. The spectrum of use of modified starches is quite wide. They are used to thicken canned meat, as a stabilizer of low-fat dietary mayonnaise, fat creams, sauces, jelly, quick-frozen foods, to improve the quality of bread, cookies, and waffles. Therefore, the study of the properties of modified starches is a necessary prerequisite for their use to ensure the creation of physiologically safe food products in conditions of increased environmentalization of production.

#### References:

1. Aaliya, B., Sunooj, K.V., John, N.E., Navaf, M., Akhila, P.P., Sudheesh, C., Sabu, S., Sasidharan, A., Mir, S.A., George, J. (2022). Impact of microwave irradiation on chemically modified talipot starches: A characterization study on heterogeneous dual modifications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 209, 1943-1955.
2. Altuna, L., Herrera, M.L., Foresti, M.L. (2018). Synthesis and characterization of octenyl succinic anhydride modified starches for food applications. A review of recent literature. *Food Hydrocolloids*, 80, 97-110.
3. Chen, Y., Kaur, L., Singh, J. (2018). Chapter 7 - Chemical Modification of Starch. In M. Sjöö, L. Nilsson (Eds.), *Starch in Food (Second Edition)*, Woodhead Publishing, pp. 283-321.
4. Choi S. G.; Kerr W. L., Water mobility and textural properties of native and hydroxypropylated wheat starch gels. *Carbohydrate Polymers* 2003, 51 (1), 1-8.
5. Colussi, R., El Halal, S.L.M., Pinto, V.Z., Bartz, J., Gutkoski, L.C., da Rosa Zavareze, E., Dias, A.R.G. (2015). Acetylation of rice starch in an aqueous medium for use in food. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1076-1082.
6. Haq, F., Yu, H., Wang, L., Teng, L., Haroon, M., Khan, R.U., Mehmood, S., Bilal Ul, A., Ullah, R.S., Khan, A., Nazir, A. (2019). Advances in chemical modifications of starches and their applications. *Carbohydrate Research*, 476, 12-35.
7. Kennedy J. F.; Panesar P. S., Starch in food: structure, functions and applications. *Carbohydrate Polymers* 2005, 61 (3), 383-384.
8. Kou, T., Gao, Q. (2018). New insight in crosslinking degree determination for crosslinked starch. *Carbohydrate Research*, 458-459, 13-18.
9. Lee, Y.-T., Puligundla, P. (2017). Characteristics of reduced-fat muffins and cookies with native and modified rice starches. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(5), 311-316.
10. Lemos, P.V.F., Marcelino, H.R., Cardoso, L.G., Souza, C.O.d., Druzian, J.I. (2021). Starch chemical modifications applied to drug delivery systems: From fundamentals to FDA-approved raw materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 218-234.
11. Liang, Q., Pan, W., Gao, Q. (2021). Preparation of carboxymethyl starch/polyvinyl-alcohol electrospun composite nanofibers from a green approach. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 601-606.
12. Lin, D., Zhou, W., Zhao, J., Lan, W., Chen, R., Li, Y., Xing, B., Li, Z., Xiao, M., Wu, Z., Li, X., Chen, R., Zhang, X., Chen, H., Zhang, Q., Qin, W., Li, S. (2017). Study on the synthesis and physicochemical properties of starch acetate with low substitution under microwave assistance. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 316-326.
13. Liu, X., Cao, Y., Zhao, W., Shen, H., Zheng, J., Liang, W., Ge, X., Zeng, J., Gao, H., Hu, Y., Li, W. (2023). Ternary blended plastics based on electron beam irradiation pretreated carboxymethyl lotus seed starch and its mechanical and hydrophobic properties. *Industrial Crops and Products*, 200, 116887.
14. Lu, X., Luo, Z., Fu, X., Xiao, Z. (2013). Two-Step Method of Enzymatic Synthesis of Starch Laurate in Ionic Liquids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(41), 9882-9891.

15. Mahmoudi Najafi, S.H., Baghaie, M., Ashori, A. (2016). Preparation and characterization of acetylated starch nanoparticles as drug carrier: Ciprofloxacin as a model. *International Journal of Biological Macromolecules*, 87, 48-54.
16. Masina, N., Choonara, Y.E., Kumar, P., du Toit, L.C., Govender, M., Indermun, S., Pillay, V. (2017). A review of the chemical modification techniques of starch. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1226-1236.
17. Omar-Aziz, M., Khodaiyan, F., Yarmand, M.S., Mousavi, M., Gharaghani, M., Kennedy, J.F., Hosseini, S.S. (2021). Combined effects of octenylsuccination and beeswax on pullulan films: Water-resistant and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 255, 117471.
18. Pooresmaeil, M., Namazi, H. (2021). Developments on carboxymethyl starch-based smart systems as promising drug carriers: A review. *Carbohydrate Polymers*, 258, 117654.
19. Ramadan, M.F., Sito, M.Z. (2020). Phosphorylated Starches: Preparation, Properties, Functionality, and Techno-Applications. *Starch - Starke*, 72(5-6), 1900302.
20. Sandhu, K.S., Siroha, A.K., Punia, S., Sangwan, L., Nehra, M., Purewal, S.S. (2021). Effect of degree of cross linking on physicochemical, rheological and morphological properties of Sorghum starch. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100073.
21. Sang, Y., Seib, P.A. (2006). Resistant starches from amylose mutants of corn by simultaneous heat-moisture treatment and phosphorylation. *Carbohydrate Polymers*, 63(2), 167-175.
22. Simi, C.K., Emilia Abraham, T. (2007). Hydrophobic grafted and cross-linked starch nanoparticles for drug delivery. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 30(3), 173-180.
23. Singh, J., Kaur, L., McCarthy, O.J. (2007a). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications--A review. *Food hydrocolloids.*, 21(1), 1-22.
24. Singh, J., Kaur, L., McCarthy, O.J. (2007b). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 1-22.
25. Sriprabhom, J., Tatikunakorn, P., Lerdpriyanun, P., Suphantharika, M., Wongsagonsup, R. (2023). Effect of single and dual modifications with cross-linking and octenylsuccinylation on physicochemical, in-vitro digestibility, and emulsifying properties of cassava starch. *Food Research International*, 163, 112304.
26. Sweedman, M.C., Tizzotti, M.J., Schäfer, C., Gilbert, R.G. (2013). Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 92(1), 905-920.
27. Tao Y.; Yan B.; Fan D.; Zhang N.; Ma S.; Wang L.; Wu Y.; Wang M.; Zhao J.; Zhang H., Structural changes of starch subjected to microwave heating: A review from the perspective of dielectric properties. *Trends in Food Science & Technology* 2020, 99, 593-607.
28. Teng L. Y.; Chin N. L.; Yusof Y. A., Rheological and textural studies of fresh and freeze-thawed native sago starch–sugar gels. II. Comparisons with other starch sources and reheating effects. *Food Hydrocolloids* 2013, 31 (2), 156-165.
29. Tetlow, I., Butler, V. (2023). Chapter 5 - Biosynthesis of starch in tuberous crop plants. In M. Pascoli Cereda, O. François Vilpoux (Eds.), *Starchy Crops Morphology, Extraction, Properties and Applications*, Academic Press, pp. 83-129.
30. Vidal, N.P., Bai, W., Geng, M., Martinez, M.M. (2022). Organocatalytic acetylation of pea starch: Effect of alkanoyl and tartaryl groups on starch acetate performance. *Carbohydrate Polymers*, 294, 119780.
31. Wang, S., Copeland, L. (2015). Effect of Acid Hydrolysis on Starch Structure and Functionality: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(8), 1081-1097.
32. Wang, S., Wang, J., Liu, Y., Liu, X. (2020a). Starch Modification and Application. In S. Wang (Ed.) *Starch Structure, Functionality and Application in Foods*, Springer Singapore, Singapore, pp. 131-149.
33. Wang, X., Huang, L., Zhang, C., Deng, Y., Xie, P., Liu, L., Cheng, J. (2020b). Research advances in chemical modifications of starch for hydrophobicity and its applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 240, 116292.
34. Wu, M., Li, Y., Li, J., Xu, S., Gu, Z., Cheng, L., Hong, Y. (2022). Preparation and structural properties of starch phosphate modified by alkaline phosphatase. *Carbohydrate Polymers*, 276, 118803.
35. Zhao, K., Jia, Z., Hou, L., Yang, H., Xiao, S., Ding, W., Zhang, Y., Wang, X., Fu, Y., Wu, Y. (2023). Interpretation of the effects of hydroxypropyl starch and hydroxypropyl distarch phosphate on frozen raw noodles quality during frozen storage: Studies on water state and starch-gluten network properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 124783.
36. Zhou, M., Shi, L., Cheng, F., Lin, Y., Zhu, P.-X. (2018). High-Efficient Preparation of Carboxymethyl Starch via Ball Milling With Limited Solvent Content. *Starch - Starke*, 70(5-6), 1700250.
37. Zhou, M., Xiong, Z., Cai, J., Xiong, H. (2015). Effect of cross-linked waxy maize starch on the quality of non-fried instant noodles. *Starch - Starke*, 67(11-12), 1035-1043.
38. Zia ud, D., Xiong, H., Fei, P. (2017). Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12), 2691-2705.

**Мазуренко І. К.**, доктор технічних наук, Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна

**Кошель О. Ю.**, доктор філософії, Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна

**Маренкова Т. І.**, старший викладач Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна

**Шкаралупа Р. В.**, магістр, Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна

**Властивості та застосування модифікованих крохмалів у харчових виробництвах**

*Крохмаль є найпоширенішою органічною сполукою в природі після целюлози. Властивості нативного крохмалю не завжди відповідають вимогам для його застосування у виробництві різноманітних харчових продуктів. Функціональні обмеження нативного крохмалю можна подолати шляхом модифікації крохмалю шляхом застосування різних фізичних, хімічних і ферментативних методів для надання йому нових властивостей та розширення сфери для використання. У цій статті розглянуто деякі поширені методи модифікації, такі як етеріфікація,*

зшивання крохмалю, а також подвійна модифікація з використанням фізичних та хімічних методів або хімічних та ферментативних. У статті також висвітлено застосування модифікованих крохмалів в харчовій промисловості.

Аналіз літературних та інтернет-джерел показав, що серед добавок, які використовуються в харчовій промисловості, модифіковані крохмалі посідають особливе місце, а їх використання в сучасних харчових технологіях як структуроутворюючих добавок дозволяє створювати широкий асортимент продукції. Поряд з великою кількістю різних видів модифікованих крохмалів досліджень у напрямку вивчення їх властивостей і встановлення змін, які відбуваються в молекулі крохмалю при обробленні досить мало. Тому вивчення властивостей модифікованих крохмалів різної модифікації дозволить надати рекомендації для їх використання та встановити їх вплив на організм людини при їх споживанні у складі харчових продуктів.

Досліджено їхню драглеутворювальну здатність за органолептичними показниками сформованих драглів та процес клейстеризації модифікованих крохмалів.

Встановлено вплив різних видів модифікації на кристалічність модифікованого крохмалю та його властивості.

Аналіз характеру дифрактограм картопляного крохмалю показує, що після модифікації відносний ступінь кристалічності в основному змінюється за рахунок розриву існуючих зв'язків, а також утворення нових у процесі модифікації. Оскільки зниження ступеня кристалічності призводить до кращої атакованості крохмалю ферментами, організм людини краще засвоює продукти, що пройшли процес деструкції, але використання зшитого і окисленого крохмалю дозволяє отримувати пасту потрібної структури.

**Ключові слова:** модифіковані крохмалі, хімічна модифікація, застосування, драглеутворююча здатність, органолептичні показники, процес клейстеризації.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ КИСЛОМОЛОЧНИХ НАПОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ БОРОШНА КІНОА

**Болгова Наталія Вікторівна**

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

**Самохіна Євгенія Анатоліївна**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-0983-3047  
evgeniya\_samokhina@ukr.net

*Кіноа широко використовують вегетаріанці і вегани, не містить глютену. Незважаючи на її широке використання, дослідження ферментованих напоїв з додаванням борошна кіноа представлено мало. **Мета дослідження.** Обґрунтування введення в рецептуру кисломолочного напою кількості борошна кіноа, аналіз органолептичних та фізико-хімічних показників, удосконалення технології кисломолочного напою з додаванням рослинного компоненту. **Методи дослідження.** Органолептичні, фізико-хімічні, математична обробка експериментальних даних за допомогою комп'ютерних технологій. **Результати.** Сенсорний аналіз був у зразків схожий за більшістю показників. Солодкуватий, кисломолочний, дещо пікантний смак першого зразка сподобався дегустаторам. Другий зразок мав інтенсивний борошнистий запах, смак і отримав низькі бали. Для досягнення поставленої мети варто було вивчити фізико-хімічні показники продукту. У процесі ферментації зразків з борошном кіноа рН знижується на 1,87 та 2,5 відповідно. В'язкість зразків з борошном кіноа під час ферментації збільшилася, а контрольного – знизилася. Така ж тенденція спостерігалася і за показником вологоутримуючої здатності. Представлені результати мікробіологічних досліджень свідчать, що всі показники безпечності продукту знаходяться в межах норми. **Висновки.** Розроблений кисломолочний напій з внесенням 25% борошна кіноа найбільше відповідає вимогам споживачів та дозволить розширити існуючий асортимент. Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше запропоновано як білковий рецептурний компонент кисломолочного напою борошно кіноа районowanego сорту Квартет. Досліджено його вплив на фізико-хімічні та реологічні показники готового продукту. Мікробіологічні показники готових продуктів на кінцевий термін придатності були в межах нормативних документів. Введення в рецептуру кисломолочного напою борошна кіноа позитивно вплинуло на мікробіологічні показники готового продукту та на термін придатності, збільшивши його до 20 діб. Практичне значення одержаних результатів виявляється у можливості використовувати запропоновану технологію та рецептуру кисломолочного напою в умовах молочних заводів без заміни обладнання.*

**Ключові слова:** кисломолочний напій, йогурт, борошно кіноа, добавка, органолептика, фізико-хімічні показники, реологія, мікробіологічні показники, безпечність, технологія.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.2>

**Вступ.** Серед великої кількості представлених на ринку інноваційних функціональних молочних продуктів, кисломолочні напої вважаються найбільш затребуваними через зручність та можливість задовольнити вимоги споживачів до об'єму, форми, зовнішнього вигляду пакування, а також можливості введення у рецептуру бажаних поживних речовин та біологічно активні компоненти.

Останнім часом зростає використання зернових продуктів з більш високою харчовою цінністю, які завдяки вмісту біологічно активних речовин можуть позитивно вплинути для здоров'я (Dallagnol et al., 2013). Значна увага приділяється використанню псевдозлаків, в основному кіноа (Dallagnol et al., 2013; Bhargava et al., 2006; Sokolovska et al., 2020). Вона характеризується: високим вмістом рослинних білків (12–23%) подібних до молочних (Gordillo–Bastidas et al., 2016; Kaur & Tanwar, 2016; Nisar et al., 2017; Zannini et al., 2018); значною кількістю крохмалю (52–60 %) з низьким вмістом амілози (7–11 %) (Ahmed et al., 2019); вищим, порівняно з іншими злаками, вмістом харчових волокон (9–16%)

(Gordillo–Bastidas et al., 2016); вмістом антиоксидантів, поліфенолів, флавоноїдів, мінералів (магній, цинк, залізо, калій, фосфор), вітамінів (група E, B та C) (Kaur & Tanwar, 2016; Tang & Tsao, 2017; Ahmed et al., 2019).

Молочнокислі напої, вироблені за класичними рецептурами, беззаперечно мають функціональні властивості, однак в останнє десятиліття збільшилося використання псевдозернових не лише у спеціальних дієтах людей з алергією на злаки, а й у здоровому харчуванні всіх верств населення.

*Стан вивчення проблеми.* Питання використання борошна кіноа в харчовій промисловості досліджували в свої роботах науковці з усього світу ( Bianchi et al., 2014; Lorusso et al., 2018, Ujiroghene et al. 2019; Karovičová et al., 2020; Urquizo et al., 2017; Rizzello et al., 2016; Kaur & Tanwar, 2016; Pineli et al., 2015; Rollán et al., 2019; Zannini et al., 2018.; Sokolova et al., 2021)

Невирішені питання. Завдяки високій поживній цінності, агроєкологічній пристосованості кіноа є однією

з культур, яка здатна сприяти продовольчій безпеці, а також підвищувати поживну цінність раціону. Кіноа, як джерело білка, широко використовують вегетаріанці і вегани. Вона не містить глютену, а отже підходить для людей, які не переносять глютен. Зважаючи на широке використання кіноа у харчуванні та вивчення її впливу на характеристики продуктів вченими різних країн (Lorusso et al., 2018; Rizzello et al., 2016; Tang & Tsao, 2017; Kumar et al., 2022; Ren et al., 2023; Zhou et al., 2023; Zhou et al., 2023; Daraz et al., 2020; Shobeiri et al., 2023) вважаємо, що питання актуальності розробки та виробництва ферментативних кисломолочних напоїв з борошном кіноа стає доцільним та обґрунтованим.

Розроблення кисломолочного напою дозволить збільшити сенсорну прийнятність ферментованого напою та його стабільність при зберіганні.

**Мета і методи дослідження.** *Мета статті* – розширення рецептури кисломолочних напоїв за рахунок додавання борошна кіноа, аналіз органолептичних та фізико-хімічних показників розробленого продукту, удосконалення технології кисломолочного напою з додаванням рослинного компоненту. *Об'єкт досліджень* – технологія виробництва кисломолочного напою з використанням борошна кіноа. *Предмет досліджень* – йогурт та зразки кисломолочного напою з борошном кіноа (ДСТУ 4343:2004), модельні зразки кисломолочного напою з додаванням борошна кіноа в кількості 25, 35% від загальної маси. *Методи дослідження* органолептичні, фізико-хімічні, структурно-механічні відповідно ДСТУ 4343:2004, математична обробка експериментальних даних за допомогою комп'ютерних технологій.

**Результати дослідження.** Виробництво нових ферментованих напоїв з високою харчовою та функціональною цінністю є серйозним питанням науковців і виробників. Сучасне харчування переважної більшості населення змушує удосконалювати існуючі та/або розробляти нові харчові продукти. Для розробки рецептури кисломолочного напою використано борошно кіноа районованого сорту Квартет, що популяризуватиме використання регіональної сировини. Аналізуючи результати досліджень (Kariovičová et al., 2020; Lorusso et al., 2018), щодо використання у молочній промисловості борошна кіноа та його кількості у рецептурі, робимо висновок, що оптимальний відсоток становить 25–35. Зважаючи на оприлюднені результати прийнято рішення розробити зразки досліджуваного кисломолочного продукту з внесенням 25 та 35% добавки (табл. 1).

На підставі літературних даних дійшли висновку, що борошно кіноа характеризується збалансованим вмістом амінокислот, в тому числі, лімітуючих (лізин, метіонін).

В основі удосконаленої технології виробництва кисломолочного напою з борошном кіноа лежить традиційна схема виробництва йогурту. Відмінність якої у додатковому технологічному процесі – внесення борошна кіноа. Перед внесенням борошно промивають, видаляючи сапоніни, які надають продукту гіркого, в'яжучого смаку та негативно впливають на розчинність білків. Згідно ДСТУ 4343:2004 активна кислотність готового продукту повинна бути на рівні 4,8–4,0 рН. Внесення підготовленого борошна кіноа проводили під час приготування нормалізованої суміші.

Будь який новий або вдосконалений продукт, що пропонується споживачу, в першу чергу має бути привабливий з точки зору органолептичної оцінки. Сенсорна оцінка розроблених продуктів проводила група дегустаторів із десяти осіб. Кожен показник було оцінено максимум в п'ять балів. Результати сенсорного аналізу представлені в табл. 2.

Таблиця 2  
**Органолептична оцінка досліджуваних зразків з борошном кіноа, М±т**

Показник	Зразок	
	1	2
Зовнішній вигляд і консистенція	3,6±0,11	3,8±0,17
Смак і запах	4,1±0,19	2,6±0,08
Колір	3,6±0,13	3,4±0,11

Відповідно нормативного документу на йогурт вироблений за традиційною технологією, він повинен мати наступні характеристики: зовнішній вигляд та консистенція – однорідна, ніжна, з порушеним або непорушеним згустком, у міру щільна, без газоутворення, з додаванням стабілізатора – желе- або кремopodobна, з частками внесених добавок або наповнювачів, які розподілені за всією масою йогурту або шарами; смак та запах – чистий, кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів, у міру солодкий; колір – від білого до світло-жовтого, обумовлений кольором застосованого наповнювача. Загалом сенсорний аналіз був у зразків схожий за більшістю показників. Інтенсивний борошнистий запах і смак спостерігали у другому зразку. Саме тому зразок отри-

Таблиця 1  
**Рецептура кисломолочного напою з борошном кіноа, %**

Складові компоненти	Зразок	
	1	2
Молоко коров'яче нормалізоване (масова частка жиру 2,8%)	66,0	56,0
Борошно кіноа (масова частка вологи не більше 10,0%)	25,0	35,0
Цукровий сироп (масова частка цукру 68,5%, сухих речовин 76,4%)	5,0	5,0
Закваска ( <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> )	4,0	4,0
Всього	100,0	100,0

мав низькі бали. Солодкуватий, кисло-молочний, дещо пікантний смак першого зразка сподобався дегустаторам. Отже, в процесі ферментації кисло-молочного напою (1 зразок) з борошном кіноа продукт отримав характеристики схожі до йогурту, а саме, відчуття кисло-молочного смаку без неприємного післясмаку. Показники зовнішнього вигляду, консистенції та кольору суттєво не відрізнялися. Колір зразків світло-кремовий, консистенція однорідна, присутній незначний осад.

Зважаючи на ідентичні умови проведення дослідження, технологічні параметри, рецептурні компоненти, можна стверджувати, що збільшення відсотку внесеного рослинного компоненту призводить до погіршення сенсорних показників продукту. Відтак, 25% внесеного борошна кіноа не псує органолептичні показники кисло-молочного продукту та відповідає вимогам ДСТУ 4343:2004.

Органолептичні характеристики продукту знаходяться у тісному зв'язку з технологічними. Результати досліджень фізико-хімічних та реологічних показників представлено в табл. 3.

У процесі ферментації рН знижується, а загальна кислотність значно збільшилася, що відчувається під час органолептичної оцінки. Зниження активної кислотності на початку важливий показник якісного кінцевого продукту, а швидке підвищення загальної кислотності дозволяє звести до мінімуму ріст патогенної мікрофлори. Зважаючи на отримані експериментальні дані, за двадцять днів рН напоїв, які містили в своєму складі борошно кіноа, знизився на 1,87 та 2,5 відповідно. Схожі результати отримали інші науковці (Magala et al., 2015; Urquizo et al., 2017; Karovičová et al., 2020; Lorusso et al., 2018), пов'язуючи їх з процесом ферментації рослинних білків. Слід зазначити, що значення активної кислотності усіх

досліджуваних зразків знаходилася в межах нормативного документу.

Під час зберігання досліджувані зразки з №1 і 2 досягли відносно високої щільності, що є бажаною функціональною ознакою кисло-молочних напоїв. Як і очікувалося в'язкість зразків з борошном кіноа під час ферментації збільшилася (Bianchi et al., 2014; Lorusso et al., 2018), а контрольного – знизилася. Отже, завдяки утворенню стабільної мережі білка та збільшення щільності біомаси мікроорганізми (Ndife et al., 2019), борошно кіноа надає напою хороші реологічні характеристики. Незважаючи на те, що додавання 35% борошна кіноа в рецептуру напою має позитивний вплив на реологічні показники, його органолептичний профіль був гіршим, порівняно з першим зразком. Така ж тенденція спостерігалася і за показником вологоутримуючої здатності. Загалом, всі зразки мали значення активної в'язкості в межах норми, але, на наш погляд, найбільш відповідає запитам сучасних споживачів перший зразок.

Враховуючи отримані дані можемо зазначити, що введення в рецептуру кисло-молочного напою борошна кіноа сприяє покращенню фізико-хімічних та реологічних показників готового продукту, забезпечуючи стабільність продукту протягом терміну реалізації.

Зважаючи на сучасні тенденції, щодо безпечності продуктів харчування, дослідження мікробіологічних показників є обов'язковою вимогою. Слід враховувати, що мікробіологічні показники всіх досліджуваних зразків повинні бути в межах норми, встановленої нормативним документом. Дослідження проводили після фасування та на 20 день зберігання при температурі  $\leq 6^{\circ}\text{C}$ , що на 6 днів перевищувало термін придатності до споживання йогуртів за ДСТУ. Мікробіологічні показники досліджуваних зразків наведені в табл. 4.

Таблиця 3

Результати фізико-хімічних та реологічних показників,  $M \pm m$

Показник	Зразок					
	аналог		1		2	
	1 день	20 день	1 день	20 день	1 день	20 день
Активна кислотність, од. рН	4,50 ± 0,05	4,80 ± 0,10	5,85 ± 0,07	3,98 ± 0,15	6,05 ± 0,09	3,55 ± 0,20
Ефективна в'язкість, Па · с · 10 <sup>-3</sup>	0,72 ± 0,02	0,45 ± 0,12	0,37 ± 0,02	0,57 ± 0,09	0,42 ± 0,02	0,75 ± 0,15
Вологоутримуюча здатність, %	84,0 ± 0,53	80,0 ± 0,51	72,0 ± 2,00	89,0 ± 1,15	73,0 ± 2,05	93,0 ± 1,15

Таблиця 4

Мікробіологічні показники досліджуваних зразків

Показник	Значення			
	після фасування		на кінцевий термін придатності	
	1	2	1	2
Кількість молочнокислих бактерій ( <i>Lactobacillus bulgaricus</i> і <i>Streptococcus thermophilus</i> ), КУО в 1 см <sup>3</sup> , не менше ніж	6,2 × 10 <sup>9</sup>	6,3 × 10 <sup>9</sup>	8,7 × 10 <sup>7</sup>	8,9 × 10 <sup>7</sup>
Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), в 0,1 см <sup>3</sup>	Не виявлено			
Патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії роду <i>Salmonella</i> , в 25 см <sup>3</sup>	Не виявлено			
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 1,0 см <sup>3</sup>	Не виявлено			
Дріжджі, КУО в 1 см <sup>3</sup> , не більше ніж	Не виявлено			
Плісеневі гриби, КУО в 1 см <sup>3</sup> , не більше ніж	Не виявлено			

Життєздатність молочнокислих бактерій є важливою характеристикою для кисломолочних напоїв. Їх кількість протягом терміну придатності має бути не менше ніж  $10^7$  КУО в  $1 \text{ см}^3$ . Встановлено, що кількість кисломолочних бактерій у напоях з додаванням борошна кіноа не виходить за норму в ДСТУ. Кількість кисломолочних бактерій можна пояснити наявністю у рецептурі зразків борошна кіноа, яке є додатковим джерелом харчування для мікрофлори, що підтверджено результатами інших науковців (Karovičová et al., 2020; Lorusso et al., 2018). В цілому, представлені в таблиці результати мікробіологічних досліджень свідчать, що всі показники безпечності продукту знаходяться в межах норми. Отже, введення в рецептуру кисломолочного напою борошна кіноа позитивно вплинуло на мікробіологічні показники готового продукту та на термін придатності.

**Висновки.** За результатами органолептичної оцінки досліджуваних зразків слід зазначити, що зразок кисломолочного напою з 25 відсотками борошна кіноа смакував дегустаторам більше ніж другий зразок, який мав занадто виражений смак та запах добавки. Таким чином,

у першому зразку кількість рослинного компоненту є оптимальною, а характеристики продукту відповідають вимогам ДСТУ 4543:2004.

Аналізуючи активну кислотність розроблених зразків протягом періоду зберігання спостерігали, на відміну від аналога, зниження показнику 1,87 та 2,5 відповідно. Показники в'язкості та вологоутримуючої здатності першого та другого зразків кисломолочного напою підвищувалися. Слід зазначити, що збільшення відсотку внесеного борошна кіноа має пряму залежність з в'язкістю та вологоутримуючою здатністю.

Мікробіологічні показники готових продуктів на кінцевий термін придатності були в межах нормативних документів. Введення в рецептуру кисломолочного напою борошна кіноа позитивно вплинуло на мікробіологічні показники готового продукту та на термін придатності, збільшивши його до 20 діб.

Враховуючи сенсорну оцінку, розроблений кисломолочний напій з внесенням 25% борошна кіноа найбільше відповідає вимогам споживачів та дозволить розширити існуючий асортимент.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Ahmed, J., Thomas, L., & Arfat, Y. A. (2019). Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size. *Food Research International*, vol. 116. pp. 302-311. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.039>
2. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). Chenopodium quinoa – an Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, vol. 23. №2. pp. 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002>
3. Bianchi, F., Rossi, E. A., Gomes, R. G., & Sivieri, K. (2014). Potentially symbiotic fermented beverage with aqueous extracts of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) and soy. *Food Science and Technology International*, vol. 21. № 6. pp. 403-415. <https://doi.org/10.1177/1082013214540672>
4. Dallagnol, A. M., Pescuma, M., De Valdez, G. F., & Rollán, G. (2013). Fermentation of quinoa and wheat slurries by *Lactobacillus plantarum* CRL 778: proteolytic activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 97. № 7. pp. 3129-3140. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4520-3>
5. Daraz O., Farooq. U., Shafi. A., Hayat. K., & Khan. M. Z. (2020). Development of Quinoa (*CHENOPODIUM QUINOA*) supplemented cookies. *Agric. Sci. J.*, vol. 2. № 1. pp. 56-66. <https://doi.org/10.56520/asj.v2i1.40>
6. Gordillo–Bastidas, E., Díaz–Rizzolo, D. A., Roura, E., Massanés, T., & Gomis, R. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*), from nutritional value to potential health benefits: An integrative review. *Journal of Nutrition and Food Science*, vol. 6. № 3. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.100049>
7. Guixing Ren, Cong Teng, Xin Fan, Shengyuan Guo, Gang Zhao, Lizhen Zhang, Zou Liang, & Peiyu Qin. (2023). Nutrient composition, functional activity and industrial applications of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Food Chemistry*, vol. 410. pp. 135290. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135290>.
8. Karovičová, J., Kohajdová, Z., Lauková, M., Minarovičová, L., Greifová, M., Hojerová, J., & Greif, G. (2020). Utilisation of Quinoa for development of fermented beverages. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, vol. 14. pp. 465-472. <https://doi.org/10.5219/1323>
9. Kaur, I. & Tanwar, B. (2016). Quinoa beverages: Formulation, processing and potential health benefits. *Rom. J. Diabetes Nutr. Metab. Dis.*, vol. 23. pp. 215-225. <http://rjdnmd.org/index.php/RJDNMD/article/view/99>.
10. Kaur, I., & Tanwar, B. (2016). Quinoa beverages: formulation, processing and potential health benefits. *Romanian Journal of Diabetes Nutrition and Metabolic Diseases*, vol. 23. № 2. pp. 215-225. <https://doi.org/10.1515/rjdnmd-2016-0026>
11. Kaur, I., & Tanwar, B. (2016). Quinoa beverages: formulation, processing and potential health benefits. *Romanian Journal of Diabetes Nutrition and Metabolic Diseases*, vol. 23. № 2. pp. 215-225. <https://doi.org/10.1515/rjdnmd-2016-0026>
12. Kumar, R, Sharma, G, Sharma, A, Kumar, A, Shukla, S.K., Paul, B, Pandey, N.K., & Singh A. (2022). Cessible bioactive compounds and nutritional profile of quinoa (*Chenopodium quinoa willd*). *Marumegh*, vol. 7. № 3. pp. 10-15.
13. Lorusso, A., Coda, R., Montemurro, M., & Rizzello, C. G. (2018). Use of selected lactic acid bacteria and quinoa flour for manufacturing novel yogurt-like beverages. *Foods*, vol. 4. № 7. pp. 51. <https://doi.org/10.3390/foods7040051>
14. Ludena Urquizo, F.E., García Torres, S.M., Tolonen, T, Jaakkola, M., Pena-Niebuhr, M. G., Wright, A. V., Repo-Carasco-Valencia, R., Korhonen, H., Plumed-& Ferrer, C. (2017). Development of a fermented quinoa-based beverage. *Food Sci Nutr*, vol. 5. № 3. pp. 602-608. <https://doi.org/10.1002/fsn3.436>
15. Magala, M., Kohajdová, Z., Karovičová, J., Greifová, M., & Hojerová, J. (2015). Application of lactic acid bacteria for production of fermented beverages based on rice flour. *Czech Journal of Food Sciences*, vol. 33. № 5. pp. 458-463. <https://doi.org/10.17221/74/2015-CJFS>



16. Ndife, J., Linus-Chibueseh, A., & Bseocha, C. V. (2019). Development and evaluation of a non-dairy probiotic beverage from brown rice (*Oryza sativa*). *Journal of Food and Processing Technology*, vol. 10. № 8. pp. 1-16. <https://doi.org/10.35248/2157-7110.19.10.806>
17. Nisar, M., More, D. R., Zubair, S., & Hashmi, S. I. (2017). Physico-chemical and nutritional properties of quinoa seed: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 6. № 5. pp. 2067-2069.
18. Pineli, L.L.O., Botelho, R.B.A., Zandonadi, R.P., Solorzano, J.L., de Oliveira, G.T., Reis, C.E.G., & Teixeira, D.S. (2015). Low glycemic index and increased protein content in a novel quinoa milk. *LWT-Food Sci. Technol*, vol. 63. №2. pp. 1261-1267. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.094>
19. Rizzello, C. G., Lorusso, A., Montemurro, M., & Gobbetti, M. (2016). Use of sourdough made with quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and autochthonous selected lactic acid bacteria for enhancing the nutritional, textural and sensory features of white bread. *Food microbiology*, vol. 56. pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.11.018>
20. Rollán, G. C., Gerez, C. L., & LeBlanc, J. G. (2019). Lactic fermentation as a strategy to improve the nutritional and functional values of pseudocereals. *Frontiers in Nutrition*, vol. 6. pp. 1-16. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00098>
21. Shobeiri, M., Elhami Rad, A. H., Sheikholeslami, Z., Zenoziyan, M. S., & Saeedi Asl, M. R. (2023). The effects of quinoa and okra incorporation on the quality of diet cake. *Food science and technology international = Ciencia y tecnologia de los alimentos internacional*, pp. 10820132221140615. <https://doi.org/10.1177/10820132221140615>
22. Sokolova, Ye.B., Kovalevska, N.S., & Spodar, K.V. (2021). Pidvyshchennia kharchovoi tsinnosti miasnykh sichenykh napivfabrykatyv za rakhunok dodavannia nasinnia kinoa. [Increasing nutritional value of chopped meat semi-finished products by adding seeds quinoa]. *Visnyk umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. №1. pp. 91-95. [https://doi.org/10.31395/2310-0478-2021-1-91-95\(in Ukrainian\)](https://doi.org/10.31395/2310-0478-2021-1-91-95(in Ukrainian)).
23. Sokolovska, O.H., Valevska, L.O., & Shulianska, A.O. (2020). Biolohichna tsinnist zernovykh superfudiv. [Biological value of grain superfoods]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky*, 2020. T. 31(70). Ch. 2. № 1. pp. 166-120. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/21> (in Ukrainian).
24. Tang, Y. O., & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition & Food Research*, vol. 61. № 7. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600767>
25. Tang, Y. O., & Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition & Food Research*, vol. 61. № 7. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201600767>
26. Ujiroghene, O. J., Liu, L., Zhang, S., Lu, J., Zhang, C., Pang, X., & Lv, J. (2019). Potent  $\alpha$ -amylase inhibitory activity of sprouted quinoa-based yoghurt beverages fermented with elected anti-diabetic strains of lactic acid bacteria. *RSC Advances*, vol. 9. pp. 9486-9493. <https://doi.org/10.1039/C8RA10063B>
27. Xueyong Zhou, Ting Yry, Zuofu Wei, Liyan Yang, Lihong Zhang, Baomei Wu, Weizhong Liu, & Peng Peng. (2023). Tea-making technology by using quinoa raw materials. *Food Science and Technology*, vol. 43. <https://doi.org/10.1590/fst.117422>
28. Xueyong Zhou, Xin Yu, Liyan Yang, Zuofu Wei, Lihong Zhang, & Jianqiang Gao. (2023). A new method for preparing the instant quinoa by piecewise gelatinization. *Food Sci. Technol*, vol. 43. <https://doi.org/10.1590/fst.106822>
29. Zannini, E., Jeske, S., Lynch, K. M., & Arendt, E. K. (2018). Development of novel quinoa-based yoghurt fermented with dextran producer *Weissella* MG1. *International Journal of Food Microbiology*, vol. 268. pp. 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.foodmicro.2018.01.001>
30. Zannini, E., Jeske, S., Lynch, K. M., & Arendt, E. K. (2018). Development of novel quinoa-based yoghurt fermented with dextran producer *Weissella* cibaria MG1. *International journal of food microbiology*, vol. 268. pp. 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.01.001>

**Bolgova N. V.**, PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Samokhina E. A.**, PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Study of the quality indicators of sour-dairy beverages with the use of quinoa flour**

Quinoa is widely used by vegetarians and vegans, it does not contain gluten. Despite its widespread use, there is little research on fermented beverages with the addition of quinoa flour. **The aim of this article.** Justification of the introduction of the amount of quinoa flour into the formula of a fermented milk drink, analysis of organoleptic and physicochemical indicators, improvement of the technology of a fermented milk drink with the addition of a plant component. **Research methods.** Research methods are organoleptic, physico-chemical, mathematical processing of experimental data using computer technologies. **Results.** The sensory analysis of the samples was similar in most indicators. The tasters liked the sweet, sour-milk, slightly spicy taste of the first sample. The second sample had an intense floury smell, taste and received low scores. To achieve these goals, it was worth studying the physico-chemical parameters of the product. During the fermentation of samples with quinoa flour, the pH decreases by 1,87 and 2,5 respectively. The viscosity of samples with quinoa flour increased during fermentation, and that of the control decreased. The same trend was observed for the indicator of moisture retention capacity. The presented results of microbiological studies show that all indicators of product safety are within normal limits. **Conclusions and discussion.** The developed fermented milk drink with the introduction of 25% quinoa flour most meets the requirements of consumers and will allow to expand the existing assortment. The scientific novelty of the obtained results lies in the fact that for the first time quinoa flour of the districted Quartet variety was proposed as a protein recipe component of a fermented milk drink. Its influence on the physico-chemical and rheological parameters of the finished product was studied. The practical significance of the obtained results is revealed in the possibility of using the proposed technology and recipe of sour milk drink in the conditions of dairy plants without replacing the equipment.

**Key words:** fermented milk drink, yogurt, quinoa flour, supplement, organoleptics, physical and chemical parameters, rheology, microbiological indicators, safety, technology.

## ЗАСТОСУВАННЯ БОРОШНА КІНОА В ТЕХНОЛОГІЇ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

**Болгова Наталія Вікторівна**

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

**Соловей Валерія Ігорівна**

магістр  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0009-0003-0132-1316  
lerko.solovey@gmail.com

У статті розглянута перспектива використання високобілкових рослинних добавок в хлібопекарській промисловості на прикладі використання борошна кіноа. Аналіз досліджень даної проблематики дозволяє стверджувати, що кіноа є надзвичайно багатобілковою високобілковою добавкою, однак слід підібрати відсоток її внесення та технологію підготовки перед внесенням, яка дозволить зберегти біологічну цінність, забезпечить оптимальні органолептичні властивості готового продукту. **Метою** дослідження є обґрунтування рецептури хліба пшеничного з додаванням регіонального кіноа сорту Квартет. Об'єктом дослідження є технологія виробництва хліба пшеничного опарним способом. Пропонується додавання борошна кіноа в рецептуру хлібопекарських виробів, шляхом заміни частини пшеничного борошна на борошно кіноа. Розроблено рецептури 3 зразків із заміною 5, 10 та 15% пшеничного борошна на борошно кіноа. Для приготування хліба використовувалося насіння кіноа сорту Квартет, пристосоване до наших кліматичних умов, яке було селекціоновано і вирощене в Сумському НАУ. Проведено дослідження та аналіз органолептичних та фізико-хімічних показників виробів. За результатами органолептичної оцінки можна зробити висновок, що оптимальною кількістю заміни пшеничного борошна на борошно кіноа є 10%. Отриманий продукт не лише відповідає вимогам нормативної документації, але і набуває нових, характерних внесеній добавці, смако-ароматичних характеристик. Слід зазначити, що заміна пшеничного борошна на борошно кіноа позитивно вплинула на пористість хліба, збільшивши показник на 6%. Отже, за фізико-хімічними показниками другий зразок не перевищував допустимі норми та був кращим контролю. **Висновки.** Встановлено, що внесення в тісто високобілкових добавок замість частини пшеничного борошна сприяє інтенсифікації процесу бродіння і зміни структурно-механічних властивостей тіста: збільшення водопоглинальної здатності, швидкості утворення тіста, зменшення його розпливчисті. Оптимальна кількість заміни борошна складає 10%. Визначено, що внесення такої кількості борошна кіноа в рецептуру сприяє як покращенню органолептичних та фізико-хімічних показників. Обґрунтовано доцільність використання борошна кіноа в хлібопекарській промисловості для збільшення частки нової продукції.

**Ключові слова:** хліб, борошно, кіноа, тісто, добавка, опара, кислотність, рецептура, органолептика.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.3>

**Вступ.** Хліб та хлібобулочні вироби належать до основних харчових продуктів, середня добова норма споживання яких становить близько 300 г. Слід зазначити, що сьгодні споживачу пропонується велике різноманіття хлібобулочних виробів зі зміненим рецептурним складом за рахунок плодово-ягідної та овочевої сировини (Samilyk et al., 2022; Lobachova, 2015; Yevchuk, 2017; Karpyk et al., 2021; Yudicheva et al., 2020).

Поряд із перевагами хлібобулочні вироби характеризуються незбалансованістю за основними харчовими нутрієнтами: підвищеним вмістом вуглеводів і малою кількістю білка з неповноцінним амінокислотним складом. Головними лімітуючими амінокислотами пшеничного борошна є лізин і треонін. У зв'язку з цим підвищення білкової цінності хліба – важливе завдання фахівців хлібопекарської галузі.

Одним з шляхів його вирішення є пошук нових, альтернативних видів хлібопекарської сировини з високим вмістом білка. Для підвищення біологічної цінності хліб-

них виробів необхідно збагачувати їх білками, багатими на лізин, метіонін, триптофан. З погляду на це, представляється перспективним дослідження можливості використання у технології хліба рослинних високобілкових добавок (Makhynko & Chernysh, 2014; Alvarez-Jubete et al., 2010; Yaver & Bilgiçli, 2020).

Традиційні рослинні білки (тобто пшениця та соя) домінують у хлібопекарській промисловості, але нові джерела набувають популярності. Їх використовують або у вигляді борошна або крупи зі знежиреного насіння з вмістом білка 50–53%, або виробляють з них так звані концентрати і ізоляти. Шляхом видалення з них небілкових речовин доводять вміст білка в них до 65–70% (Zhou & Gao, 2022).

Кіноа – застосування якої на даний час поширене за кордоном, є однією з перспективних високобілкових рослин. Кіноа багата на лізин, треонін і метіонін, амінокислоти, яких немає в інших злаках. В хлібопеченні кіноа використовують як у вигляді насіння, так і у вигляді

борошна. Додавання 5–15% борошна кіноа замість пшеничного борошна має прийнятні якісні характеристики, такі як реологічна поведінка, яка може передбачити поводження тіста під час обробки, а також колір, консистенцію та фізичну форму, і в кінцевому підсумку характеристики продукту (Coşovanu et al., 2021; Bilgiçli & İbanoğlu, 2015; Chlopicka et al., 2012; Yeşil & Levent, 2022; Azizi et al., 2020; Morita et al., 2001; Kurek & Sokolova, 2020; Coşovanu et al., 2020). Незважаючи на свою поживну цінність, кіноа має горіховий смак, який відрізняється від пшеничних продуктів, і її хлібопекарська якість низька, оскільки в ній відсутній білок глютену, щоб утворити липке тісто.

Аналіз досліджень даної проблематики дозволяє стверджувати, що кіноа є надзвичайно багатообіцяючою високобілковою добавкою, однак слід підібрати відсоток її внесення та технологію підготовки перед внесенням, яка дозволить зберегти біологічну цінність, забезпечить оптимальні органолептичні властивості готового продукту.

**Матеріали і методи досліджень.** Метою дослідження є обґрунтування рецептури хліба пшеничного з додаванням регіонального кіноа сорту Квартет. Об'єктом дослідження є технологія виробництва хліба пшеничного опарним способом. Предметом дослідження є хліб пшеничний з додаванням борошна кіноа, хліб пшеничний (ДСТУ7515:2014).

Методи дослідження – основні дослідженнями були проведені методами теоретичного узагальнення та аналізу, а також були використані розрахункові, органолептичні та фізико-хімічні методи досліджень. Відбір проб готових хлібобулочних виробів і оцінку їх органолептичних показників (зовнішній вигляд, колір і стан скоринки, стан м'якушки, смак, запах) здійснювали за ДСТУ 7044:2009 не раніше ніж через 180×60 с після їхнього повного остигання. Фізикохімічні показники якості (масову частку вологи, кислотність, пористість та питомий об'єм) визначали за стандартними методиками за ДСТУ 7045:2009.

**Результати дослідження.** Провівши аналіз літературних джерел було виявлено, що в хлібопекарській промисловості рекомендована частка заміни борошна на білкову сировину складає не більше 15%.

Для вирішення поставлених завдань було розроблено рецептури 3 зразків та проведено пробне випікання. Перші три зразки були виготовлені з різним відсотком додавання борошна кіноа, а четвертий – контрольний, виготовлений тільки на пшеничному борошні (табл. 1).

Всі 4 зразки були приготовані опарним способом, оскільки у порівнянні з безопарним забезпечує краще керування процесом приготування тіста, тобто дає можливість обрати кращий режим і виробити більш широкий асортимент хлібобулочних виробів. Двофазне зброджування сприяє поліпшенню структури клейковини тіста і дає змогу одержувати хліб з більш розвиненою пористістю та з найбільшим вмістом пахучих і смакових речовин.

Для приготування хліба використовувалося насіння кіноа сорту Квартет, пристосоване до наших кліматичних умов, яке було селекціоновано і вирощене в Сумському НАУ.

Технологічний процес виробництва хліба розпочинається з підготовки сировини. Першим етапом підготовки сировини є приготування борошна кіноа. Борошно кіноа готувалось самостійно: зерно очищуємо, пропарюємо та просушуємо. Підготовлене зерно подрібнюємо на лабораторних млинах та просіюємо. Для розробленої рецептури обираємо малу та середню фракцію.

Здійснюємо підготовку іншої сировини: борошно пшеничне просіюємо крізь сито з діаметром отворів 1–1,5 мм, цукор та сіль просіюємо крізь сито з діаметром отворів 2–3 мм. Цукор вносимо не розчинений, а з просіяної солі готуємо сольовий розчин. Дріжджі попередньо активуємо, воду підігріваємо до температури 28±2°C. Приготування пшеничного тіста на опарі складається з двох етапів – приготування опари і тіста. Для приготування опари вводимо 2/3 потрібної за рецептурою води і 1/2 об'єму всього борошна (борошно кіноа вносимо все відразу), вносимо усі дріжджі. Під час проведення дослідження спостерігаємо, що кількість введеної води для отримання «сметаноподібної» консистенції опари різна. В зразках 2, 3 збільшується на 2%. Замішуємо опару протягом 5–7 хв. та залишаємо бродити на 3–4,5 години. По закінченні першого етапу до опари вносимо залишки пшеничного борошна, води і всі інші компоненти. Тісто замішуємо 8–10 хв. та залишаємо бродити на 1–1,5 год. У процесі бродіння тісто піддаємо обминці. Всі 4 зразки за один і той самий час при бродінні опари і тіста по різному збільшувалися в об'ємі, зразки 4, 1 мали найбільший об'єм, в той час як зразок 2, 3 менший. Після бродіння формували тістові заготовки і залишали на остаточне вистоювання протягом 15 хв. Консистенція тістових заготовок зі збільшенням кількості борошна кіноа в рецептурі ставала більш розпливчастою, об'єм зменшувався, що пояснюється введенням безглютенового компонента (рис. 1).

Таблиця 1

Рецептура досліджуваних зразків

Сировина	Кількість, г			
	4 зразок	1 зразок	2 зразок	3 зразок
Борошно пшеничне в/с	200,0	190,0	180,0	170,0
Борошно кіноа	-	10,0	20,0	30,0
Дріжджі сухі	1,2	1,2	1,2	1,2
Сіль	2,6	2,6	2,6	2,6
Цукор	2,0	2,0	2,0	2,0
Всього	205,8	205,8	205,8	205,8



Рис. 1. Тістові заготовки перед випіканням

Після остаточного вистоювання випікали хліб протягом 30–35 хв при температурі 180–200°C. Відразу після закінчення випікання продукт охолоджували. В наслідок цього маса виробів зменшилася на 1,5–2,5 % від маси гарячого хліба.

Борошно з кіноа має дещо сіруватий колір та смак і запах горіху, що передається готовому виробу, тому одним з першочергових методів контролю є органолептична оцінка (рис. 2).



Рис. 2. Зразки після випікання

Сенсорну оцінку випечених зразків проводила, відповідно вимог ДСТУ 7517:2014 «Хліб із пшеничного борошна. Загальні технічні умови», група дегустаторів із 6 осіб. Результати наведені в таблиці 2.

Хліб з додаванням борошна кіноа мав дещо відмінні органолептичні показники, а саме – чим більший відсоток внесення борошна кіноа, тим більш насичений колір виробу, смак та запах. При внесенні 5% ці показники суттєво не змінилися порівняно з контрольним зразком,

Таблиця 2

Органолептичні показники виробів

Показник	ДСТУ 7517:2014	Зразок			
		4	1	2	3
Зовнішній вигляд:					
форма	Округла, овальна чи довгасто-овальна, не розпливчаста, без притисків, дозволено один – два злипи	Округла, не розпливчаста, без притисків та злипів			
поверхня	Гладка або шорстка, без забруднень. З наколами, надрізами чи посипкою або без них, без великих тріщин і великих підривів, допустима борошністість верхньої та нижньої скоринки	Гладка, без забруднення, з маленькими тріщинами і маленькими підривами			
колір	Від світло-жовтого до темно-коричневого, без підгоріlostей	Світло-жовтий	Жовтий з коричневим відтінком	Світло-коричневий	
Стан м'якушки	Пропечена, еластична, не волога на дотик, з розвинутою пористістю, без слідів непромісу й ущільнення	Пропечена, еластична, не волога на дотик, з розвинутою пористістю, без слідів непромісу й ущільнення			
Смак і запах	Властивий цьому виду хліба, без стороннього запаху та присмаку	Властивий цьому виду хліба, без стороннього запаху та присмаку	Власти вий хлібу з пшеничного борошна, слабо виражений горіховий запах і присмак	Власти вий хлібу з пшеничного борошна, виражений горіховий запах і присмак	Властивий хлібу з пшеничного борошна, виражений горіховий запах, сильно виражений горіховий присмак



а внесення 15% надало виробу темного кольору та вираженого специфічного смаку і запаху. За результатами органолептичної оцінки можна зробити висновок, що оптимальною кількістю заміни пшеничного борошна на борошно кіноа є 10%. Отриманий продукт не лише відповідає вимогам нормативної документації, але і набуває нових, характерних внесеної добавці, смако-ароматичних характеристик.

Наступним етапом після проведення органолептичної оцінки випечених виробів і обрання найкращого зразка є дослідження його фізико-хімічних показників. Результати фізико-хімічних показників наведені в таблиці 3.

Встановлено, що додавання в рецептуру 10% борошна кіноа не має суттєвого впливу на досліджувані показники. Вологість зразка № 2 була вищою відносно контролю на 2%, але не перевищувала вимоги нор-

мативного документу. Кислотність зразків хліба також майже не змінилася. Слід зазначити, що заміна пшеничного борошна на борошно кіноа позитивно вплинула на пористість хліба, збільшивши показник на 6%. Отже, за фізико-хімічними показниками другий зразок не перевищував допустимі норми та був кращим контролю.

**Висновки.** Використання в рецептурі пшеничного хліба 15% борошна з кіноа призводить до зменшення питомого об'єму продукту, збільшення твердості, грубості та пористості, оскільки борошно з кіноа змінює вторинну структуру клейковини та порушує її мережу. Додавання невеликої кількості борошна з кіноа (10%) не має негативного впливу на хлібопекарські властивості пшеничного хліба, а сенсорна оцінка показала, що смак, аромат пшеничного хліба набуває характерного кіноа післясмаку.

Таблиця 3

**Фізико-хімічні показники виробів**

Показник	ДСТУ 7517:2014	Зразок	
		4	2
Вологість м'якушки, %	не більше 45	38	40
Кислотність м'якушки, град	не більше 3,5 град	2,5	2,4
Пористість м'якушки, %	не менше 68	73	79
Масова частка цукру, в перерахунку на СР, %	не більше 1,0%	В межах допустимого	
Масова частка жиру, в перерахунку на СР, %	не більше 0,5%	В межах допустимого	

**Бібліографічні послання:**

1. Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E.K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, 119(2), 770-778. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.032>
2. Azizi, S., Azizi, M.H, Moogouei, R., & Rajaei, P. (2020). The effect of Quinoa flour and enzymes on the quality of gluten-free bread. *Food Sci Nutr*, 8(5), 2373-2382. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1527>
3. Bilgiçli, N., & İbanoğlu, Ş. (2015). Effect of pseudo cereal flours on some physical, chemical and sensory properties of bread. *Journal of Food Science & Technology*, 52, 7525-7529. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1770-y>.
4. Chlopicka, J., Pasko, P., Gorinstein, S., Jedryas, A., & Zagrodzki, P. (2012). Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads. *LWT-Food Science and Technology*, 46(2), 548-555. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.009>
5. Coțovanu, I., Batariuc, A., & Mironeasa, S. (2020). Characterization of Quinoa Seeds Milling Fractions and Their Effect on the Rheological Properties of Wheat Flour Dough. *Applied Sciences*, 10(20), 7225. <https://doi.org/10.3390/app10207225>
6. Coțovanu, I., Ungureanu-luga, M., & Mironeasa, S. (2021). Investigation of Quinoa Seeds Fractions and Their Application in Wheat Bread Production. *Plants (Basel)*, 11(10(10)), 2150. <https://doi.org/10.3390/plants10102150>
7. Functional Bakery Products: Novel Ingredients and Processing Technology for Personalized Nutrition. Edited by Weibiao Zhou, Jing Gao. Academic Press publications, 2022. 327.
8. Karpyk, H., Kukhtyn, M., Selskyi, V., Nazarko, I., Pokotylo, O., & Haidamaka, M. (2021). Research of technological properties of bread made with the addition of beet kvass. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 23(96), 3-7. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9601>
9. Kurek, M.A., & Sokolova, N. (2020). Optimization of bread quality with quinoa flour of different particle size and degree of wheat flour replacement. *Food Sci. Technol*, 40(2). <https://doi.org/10.1590/fst.38318>
10. Lobachova N.L. Udoskonalennia tekhnolohii bezgliutenovykh khlibobulochnykh vyrobiv [Improving the technology of gluten-free bakery products]: monohrafiia. Sumy: Sumskiy natsionalnyi ahrarnyi universytet, 2015, 214. (in Ukrainian).
11. Makhynko, V.M., & Chernysh, L.M. (2014). Vysokobilkovi dobavky v khlibopechenni [High-protein additives in bread baking.]. *Khranenyie yu pererabotka zerna*, 6(183), 57-60. (in Ukrainian).
12. Naofumi, Morita, Chikako, Hirata, Sang, Ha Park, & Toshio, Mitsunaga. (2001). Quinoa Flour as a New Foodstuff for Improving Dough and Bread. *J. Appl. Glyco*, 48(3), 263-270. <https://doi.org/10.5458/jag.48.263>
13. Saliha, Yeşil, & Hacer, Levent. (2022). The influence of fermented buckwheat, quinoa and amaranth flour on gluten-free bread quality. *LWT*, 160, 113301. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113301>
14. Samilyk, M., Demidova, E., Bolgova, N., Savenko, O., & Cherniavska, T. (2022). Development of bread technology with high biological value and increased shelf life. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (11(116)), 52-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255605>

15. Yaver, E., & Bilgiçli, N. (2020). Pseudocereals: Composition, effect on nutrition-health and usage in cereal products. *Food and Health*, 6(1), 41-56. <https://doi.org/10.3153/FH20006>
16. Yevchuk Ya.V. (2017). Zastosuvannia netradytsiinoi syrovyny v tekhnologii khliba [Use of non-traditional raw materials in bread technology]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnogo ahroekologichnoho universytetu*, 1((58)1), 211-221. (in Ukrainian).
17. Yudicheva, O.P., Kalashnyk, O.V., Moroz, S.E., Rybalko, O.A., & Korsun, A.V. (2020). Orhanoleptychne otsiniuvannia khliba pshenychnoho, zbahachenoho produktamy pererobky harbuza [ Organoleptic assessment of wheat bread enriched with pumpkin processing products]. *Visnyk LTEU. Tekhnichni nauky*, 23, 136-144. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2020-23-18> (in Ukrainian).

**Bolgova N. V.**, PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Solovei V. I.**, Master, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Application of quinoa flour in wheat bread technology**

*The article considers the perspective of using high-protein plant additives in the bakery industry using the example of kino flour. The analysis of the study of this issue allows us to state that kino is an extremely promising high-protein additive, however, the percentage of its application and the technology of preparation before application should be selected, which will allow to preserve the biological value and ensure optimal organoleptic properties of the finished product. **The method of research** is the substantiation of the recipe of wheat bread with the addition of regional kino of the Quartet variety. The object of the study is the technology of wheat bread production by steam method. It is proposed to add quinoa flour to the recipe of bakery products by replacing part of the wheat flour with quinoa flour. Recipes of 3 samples were developed with the replacement of 5, 10 and 15% of wheat flour with quinoa flour. For the preparation of bread, quinoa seeds of the Quartet variety were used, adapted to our climatic conditions, which were selected and grown at the Sumy National University. Research and analysis of the organoleptic and physicochemical indicators of the products has been carried out. According to the results of the organoleptic evaluation, it can be concluded that the optimal amount of replacing wheat flour with quinoa flour is 10%. The resulting product not only meets the requirements of regulatory documentation, but also acquires new taste and aroma characteristics characteristic of the introduced additive. It should be noted that the replacement of wheat flour with quinoa flour had a positive effect on the porosity of the bread, increasing the indicator by 6%. Therefore, according to the physical and chemical indicators, the second sample did not exceed the permissible standards and was better than the control. **Conclusions.** It was established that the addition of high-protein additives to the dough instead of part of the wheat flour contributes to the intensification of the fermentation process and changes in the structural and mechanical properties of the dough: an increase in water absorption capacity, the speed of dough formation, and a decrease in its fuzziness. The optimal amount of flour replacement is 10%. It was determined that the introduction of such a quantity of quinoa flour into the recipe contributes to the improvement of organoleptic and physicochemical indicators. The feasibility of using quinoa flour in the bakery industry to increase the share of new products is substantiated.*

**Key words:** bread, flour, quinoa, dough, additive, opara, acidity, recipe, organoleptic.

## ОЧИЩЕННЯ НАСІННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКА У ПОХИЛОМУ ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ З ПОЧАТКОВОЮ ШВИДКІСТЮ КОМПОНЕНТІВ

**Головченко Галина Степанівна**

старший викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-3662-6163

Golovchenko.galina@snau.edu.ua

**Калнагуз Олексій Миколайович**

старший викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-1710-8416

fakyltet-mex@ukr.net

*Очищення посівного насіння сільськогосподарських культур є необхідною складовою для отримання кінцевого продукту найкращої якості. Тому для якісного виробництва цукрових буряків необхідно використовувати якісне посівне насіння. Насіння для висіву повинно мати високу якість, а саме фізичну чистоту, що в свою чергу потім дасть отримати нам високі врожаї. При очищенні насіння, або зерна, використовують їхні механіко-технологічні властивості, а саме: форма поверхні насіння; його так звані геометричні розміри (довжина, ширина та товщина); щільність та інші. Під час очищення суміші насіння цукрового буряка і дикої редьки за аеродинамічними властивостями науковцями доведено, що насіння останньої культури має найбільшу критичну швидкість – 7,5 м/с, проти 6 м/с для насіння цукрового буряка. Тому за таким способом поділ неможливо виконати. В статті описано один із способів очищення насіння цукрового похилому повітряному потоці. Даний потік подавав зернову суміш за принципом розсіювання траєкторії частинок у напрямку швидкості повітряного потоку. Показник винесення насіння цукрового буряка і дикої редьки визначався відношенням маси насіння, яке надійшло в верхній приймач, до маси насіння нижнього приймача. Принцип Д. Аламбера використовувався під час дослідження руху насіння цукрового буряка та дикої редьки у похилому повітряному потоці. Проведені розрахунки по визначенню критичної швидкості насіння цукрового буряка та насіння дикої редьки; сили опору повітряного потоку. Наведені залежності зміни парусності від обволікання зволоженою речовиною. В багатьох наукових статтях науковців як з України так і в світі наводяться способи та методи очищення насіння сільськогосподарських культур від домішок; наведено процес побілу насіннєвого матеріалу на решетах. Отримані математичні залежності показують нам що тільки зміна критичної швидкості компонентів суміші, дасть нам краще очистити насіння цукрового буряка, в похилому повітряному потоці, яке надходить з початковою швидкістю. Наведено залежності по визначенню відносної швидкості руху у вертикальному повітряному потоці компонентів насінної суміші: цукровий буряк – дика редька.*

**Ключові слова:** суміш насіння, повітряний потік, парусність, критична швидкість, миделевий переріз, відносна швидкість руху.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.4>

**Вступ.** У сільськогосподарському виробництві післязбиральна обробка насіння займає важливе місце в одержанні високих врожаїв. Вона передбачає очищення, сортування та висушування. Видалення з насіння цукрового буряка домішків значно підвищує товарну цінність насіння, поліпшує їхні посівні якості і розподіл рослин у рядку, знижує засміченість полів. Питанням очищення та сортування насіння сільськогосподарських культур від домішок присвячено багато праць. В залежності від рівня агротехніки яка використовується при різних способах збирання залежить склад та кількість домішок в насінні сільськогосподарської культури. В роботі (Kharchenko, S. O., Kharchenko, F.M., Rankova, O.V., Vakum, M.V., & Kharchenko, D.O., 2022) описано процес поділу насіння за розмірами на віброрешетах, що залежить від форми, розмірів та питомої ваги часточок. Встановлено перелік властивостей насіннєвого матеріалу, які є значущими при обґрунтуванні параметрів процесу поділу частинок на різних зернових

сепараторах. Тому це питання не втратило своєї актуальності.

Машина для очищення каноли була розроблена на основі теорії механічної та аеродинамічної сепарації. Розроблена машина була випробувана при трьох рівнях кута нахилу циліндричного сита та трьох рівнях швидкості сита. Критерії оцінки включали продуктивність машини, ефективність очищення, відсоток втрат насіння, питому споживану енергію та відсоток схожості (Ghonimy, M. & Rostom, M. 2022).

**Матеріали і методи досліджень.** Діючим державним стандартом на насіння сільськогосподарських культур ДСТУ 2240-93, ДСТУ 6068-2008, ДСТУ 4811-2007 та цукрового буряка ДСТУ 8140-2015 (ДСТУ 4605-2006 – кормові буряки) встановлено, що дикої редьки в насінні цукрового буряка не повинно бути більше, ніж 0,1 % за масою, тобто в одному кілограмі цукрового буряка не повинно бути більше, ніж 50–55 шт. дикої редьки. Очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки

можна забезпечити на електромагнітних насіннеочисних машинах. Вимогам державного стандарту на насіння цукрового буряка ДСТУ 8140-2015 по засміченню дикою редькою можуть задовольняти виходи (II + III) на деяких режимах роботи машини. Приведена технологічна схема роботи електромагнітної насіннеочисної машини, наведені результати дослідів по очищенню насіння цукрового буряка від дикої редьки в залежності: 1) від ступеню зволоження вихідного матеріалу із змішуванням з магнітним порошком вручну при подачі магнітного порошку 6%; 2) від подачі магнітного порошку, зволоженого на 2% вихідного матеріалу із змішуванням з магнітним порошком вручну (Holovchenko, 2020, с.34).

Фактично на насіннеочисні заводи в деяких випадках надходять партії насіння цукрового буряка з вмістом дикої редьки 250–350 шт. і більше в одному кілограмі. Критична швидкість насіння цукрового буряка складає 4,0–6,0 м/с, а насіння дикої редьки – 3,1–7,3 м/с. В зв'язку з цим поділу насіння цукрового буряка і дикої редьки за аеродинамічними властивостями досягти неможливо. Також неможливо досягти поділу насіння цукрового буряка і дикої редьки за розмірними показниками.

Вихідний матеріал після очищення від магнітного порошку характеризувався коефіцієнтом захоплення порошку, який уявляє собою відношення в відсотках маси порошку, що утримується поверхнею насіння, до маси досліджуваного зразка. Очищення насіння цукрового буряка від магнітного порошку відбувалось: 1) струшуванням їх вручну на решетах протягом трьох хвилин обережним коливанням в чотирикратній повторності; 2) на решітній частині машини при частоті обертання колінчастого вала решітного стану в межах 320...500 хв<sup>-1</sup> в чотирикратній повторності; 3) в повітряному потоці при швидкості повітря 2,3...9,3 м/с в чотирикратній повторності. Показник винесення насіння цукрового буряка і дикої редьки визначався відношенням маси насіння, яке надійшло в верхній приймач, до маси насіння нижнього приймача (Holovchenko, 2018).

В роботі (Holovchenko, 2019) розглядаються питання, пов'язані з очищенням насіння цукрового буряка від дикої редьки в залежності від подачі магнітного порошку із змішуванням вихідного матеріалу з магнітним порошком в електромагнітній насіннеочисній машині. Приведена технологічна схема роботи електромагнітної насіннеочисної машини, наведені результати дослідів по обволіканню насіння цукрового буряка і дикої редьки магнітним порошком, наведено розподіл дикої редьки по виходах в залежності від подачі магнітного порошку та побудовані графічні залежності на вміст дикої редьки на деяких режимах електромагнітної насіннеочисної машини. Із збільшенням продуктивності машини спостерігається погіршення якості розподілу.

Однак, зменшення продуктивності машини не задовольняє існуючі технологічні лінії насіннеочисних заводів.

Пропонується спосіб очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки, який полягає в наступному. Суміш насіння поділяють відомими способами: за роз-

мірами і парусністю на решітних, трієрних і повітряних машинах, по щільності – на пневмостолах. Після такого очищення в насінні цукрового буряка залишається насіння дикої редьки, яке має з ними однакові парусність і розміри і важко видалається.

Потім цю суміш обволікають зволоженою речовиною, яка є природним компонентом ґрунту, щільність якого є більшою за щільність насіння. Оскільки насіння цукрового буряка має більш шорстку поверхню, ніж насіння дикої редьки, то перші змінюють свою масу в більшій мірі, ніж другі. Внаслідок цього змінюється парусність насіння в різних пропорціях.

Пропускаючи таку суміш крізь повітряний потік, припускають, що насіння цукрового буряка можна очистити від насіння дикої редьки.

В роботі (Uhlarik et al., 2018) проведені дослідження по очищенню насіння при допомозі магнітного сепаратора. Дослідження науковців показали кількісний показник відходів після очищення даним методом.

У статті (Sardorbek, 2022) розглядаються можливості та рекомендації щодо вдосконалення техніки та технології очищення насіння, впровадження аеродинамічного сортування при сортуванні, наукові дослідження щодо забезпечення продуктивного та якісного виходу насіння, впровадження багато фракційного сортування на основі покращення очищення технології та, завдяки цьому, можливості повного очищення насіння від домішок, запобігання псуванню насіння та підвищення виходу волокна, придатного для прядіння в текстильній промисловості, та надано рекомендації.

Традиційні методи очищення зерна трудомісткі забирають багато часу і при цьому дуже неефективні. Використання доступних механічних очищувачів насіння широко обмежене, оскільки вони дорогі у володінні, експлуатації та обслуговуванні. Було розроблено очищувач насіння з педальним управлінням, і було оцінено його продуктивність. При розрахунку розмірів та конструкції машини використовувалися відповідні інженерні принципи та методики. Пилосос складається з велосипедної системи, бункера, відцентрового вентилятора та трьох очисних сит; комірки якого можна регулювати, щоб вони були більшими, ніж розмір нечистого насіння (Wilber et al., 2021).

**Результати досліджень.** Похилий повітряний потік поділяє зернову суміш за принципом розсіювання траєкторій окремих часточок у напрямку швидкості повітряного потоку. Розглянемо випадок, коли зернова суміш потрапляє в повітряний потік з деякою початковою швидкістю. Поведінка матеріального тіла, яке розміщено у похилому повітряному потоці залежить від багатьох факторів, які пов'язані із властивостями матеріального тіла та потоку (Tsarenko et al., 2003).

Для виявлення закономірності руху насіння у вертикальному повітряному потоці зробимо деякі припущення: 1) повітряний потік знаходиться в одній площині; 2) повітряний потік постійний за величиною та напрямком швидкості; 3) насіння цукрового буряка та дикої редьки переміщуються в потоці вільно, як матеріальні тіла, без зіткнення одне з одним.



Нехай маємо ламінарний потік, який характеризується швидкістю  $u_n$ . На насінину, яка потрапляє у потік, діють сили: сила тяжіння  $G = mg$  (рис. 1), яка спрямована вертикально вниз, сила дії повітряного потоку  $R$ , яка визначається відносною швидкістю  $u_n$ , та відцентрова сила  $m\omega^2 r$ .

Під дією вказаних сил тіло буде рухатися в потоці по деякій траєкторії, тобто повний рух складається із переносного руху разом з потоком і відносного. Відносний рух можна уявити, якщо віднести тіло до системи координат, яка переміщується поступальним рухом разом з потоком.

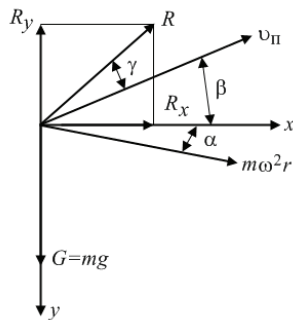


Рис. 1. Швидкості та сили, що діють на насінину у похилому повітряному потоці

Дослідження руху насінини в повітряному потоці може бути виконано із застосуванням принципу Д'Аламбера. В зв'язку з прийнятими припущеннями маємо на осі  $x$  та  $y$  наступні диференціальні рівняння:

$$-m \frac{dv_{ax}}{dt} + R_x + m\omega^2 r \cos \alpha = 0, \quad (1)$$

$$-m \frac{dv_{ay}}{dt} - R_y + mg + m\omega^2 r \sin \alpha = 0, \quad (2)$$

де  $m \frac{dv_{ax}}{dt}$  та  $m \frac{dv_{ay}}{dt}$  – проекції сил інерції від відносної швидкості відповідно на осі  $x$  та  $y$ ;  $R_x$  та  $R_y$  – проекції сили опору повітря на осі  $x$  та  $y$ ;  $mg$  – сила тяжіння насіння;  $m$  – маса насінини;  $v_{ax}$ ,  $v_{ay}$  – відповідно швидкості насінини у відносному русі, прискорення, сила інерції від відносної швидкості, де  $\omega$  – кутова швидкість живильного валика, рад./с;  $r$  – радіус живильного валика, м;  $\alpha$  – кут нахилу відцентрової сили, град.;

Сила опору повітряного потоку визначається за формулою Ньютона

$$R = k\gamma_n F (v_n - v_e)^2, \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору повітря;  $\gamma_n$  – об'ємна маса повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $F$  – міделевий переріз, тобто проекція насінини на площину, перпендикулярну до напрямку повітряного потоку, м<sup>2</sup>;  $v_n, v_e$  – швидкості відповідно повітряного потоку та насінини в відносному русі, м/с.

При відносній швидкості  $v_e = 0$  за  $R = G$  насінинна перебуватиме у завислому стані, що відповідає критичній швидкості повітряного потоку, тобто  $v_n = v_{kp}$ .

Через це

$$k\gamma_n F = \frac{G}{v_{kp}^2}, \quad (4)$$

і формула (4) набуває вигляду

$$R = \frac{G}{v_{kp}^2} (v_n - v_e)^2. \quad (5)$$

Виходячи із вищевказаного, формули (1) та (2) можна записати у вигляді

$$m \frac{dv_{ax}}{dt} = \frac{mg}{v_{kp}^2} (v_n - v_e)^2 \cos(\beta + \gamma) + m\omega^2 r \cos \alpha, \quad (6)$$

$$m \frac{dv_{ay}}{dt} = -\frac{mg}{v_{kp}^2} (v_n - v_e)^2 \sin(\beta + \gamma) + mg + m\omega^2 r \sin \alpha. \quad (7)$$

Тут  $\beta$  – кут нахилу повітряного потоку до горизонту,  $\gamma$  – кут відхилення сили опору повітря від напрямку вектора швидкості потоку, який визначається за теоремою синусів із швидкісного трикутника (рис. 2) за формулою:

$$\sin \gamma = \frac{\omega r}{v_e} \sin(\alpha + \beta), \quad (8)$$

$$\text{де } v_e = \sqrt{v_n^2 + (\omega r)^2 - 2v_n \omega r \cos(\alpha + \beta)}.$$

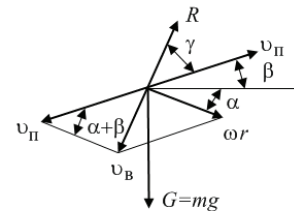


Рис. 2. Схема до визначення кута  $\gamma$

Спочатку розв'яжемо рівняння (6). Виконавши елементарні перетворення, формулу (6) можна записати у вигляді:

$$m \frac{dv_{ax}}{dt} = \frac{mg}{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)} \left[ (v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})^2 + \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{mg} \omega^2 r \cos \alpha \right].$$

Після скорочення на  $m$  та відокремлюючи змінні, отримаємо рівняння

$$-\frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \int \frac{d(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})}{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})^2 + \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{mg} \omega^2 r \cos \alpha} = dt,$$

інтегруючи яке, маємо:

$$-\frac{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}}{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}} \operatorname{arctg} \frac{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax}) \sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha} \cos(\beta + \gamma)} = t + C_1. \quad (9)$$

Постійну інтегрування  $C_1$  знайдемо при  $t = 0$  та  $v_{ax} = 0$ :

$$C_1 = -\frac{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}}{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}} \operatorname{arctg} \frac{v_n \cos(\beta + \gamma) \sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha} \cos(\beta + \gamma)},$$

тоді рівняння (9) можна записати у вигляді:

$$-\frac{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}}{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}} \operatorname{arctg} \frac{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax}) \sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha} \cos(\beta + \gamma)} = t - \left[ -\frac{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}}{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}} \operatorname{arctg} \frac{v_n \cos(\beta + \gamma) \sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha} \cos(\beta + \gamma)} \right]$$

$$\begin{aligned} & \text{або} \\ & \arctg \frac{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} = -\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t + \\ & + \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \rightarrow \\ & \rightarrow \frac{(v_n \cos(\beta + \gamma) - v_{ax})\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} = \operatorname{tg} \left( -\frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t + \right. \\ & \left. + \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right), \end{aligned}$$

розв'язавши яке, знайдемо значення проекції відносної швидкості руху  $V_{вк}$  на вісь  $x$ :

$$\begin{aligned} v_{ax} = v_n \cos(\beta + \gamma) + \frac{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}}{\sqrt{g}} \operatorname{tg} \left( \frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t - \right. \\ \left. - \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Оскільки  $v_{ax} = \frac{dx}{dt}$ , то, інтегруючи (10), знайдемо переміщення  $X$ :

$$\begin{aligned} X = v_n \cos(\beta + \gamma)t + \frac{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}}{\sqrt{g}} \int \operatorname{tg} \left( \frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t - \right. \\ \left. - \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right) dt, \end{aligned}$$

звідси

$$\begin{aligned} X = v_n \cos(\beta + \gamma)t - \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \ln \cos \left| \frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t - \right. \\ \left. - \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right| + C_2. \end{aligned}$$

Постійну інтегрування  $C_2$  знайдемо при  $t = 0$  та  $X = 0$ :

$$C_2 = \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \ln \cos \left| \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right|.$$

Підставивши знайдене значення  $C_2$  в загальний розв'язок, і, виконавши тотожні перетворення, отримаємо:

$$\begin{aligned} X = v_n \cos(\beta + \gamma)t - \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \ln \left| \frac{\cos \left( \frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t - \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \right)}{\cos \arctg \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}}} \right|. \end{aligned}$$

Звідси, використавши формулу  $\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$ , маємо значення для  $X$ :

$$\begin{aligned} X = v_n \cos(\beta + \gamma)t - \\ - \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta + \gamma)}{g} \ln \left| \cos \left( \frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t \right) + \right. \end{aligned}$$

$$\left. + \frac{v_n \cos(\beta + \gamma)\sqrt{g}}{v_{kp} \omega \sqrt{r \cos \alpha \cos(\beta + \gamma)}} \cdot \sin \left( \frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta + \gamma)}} t \right) \right|. \quad (11)$$

Далі знайдемо  $v_{ay} = v_e \sin^2$  – значення проекції вектора відносної швидкості на вісь  $y$  та координату  $Y$  – переміщення по осі  $y$ . Формулу (7) можна записати у вигляді:

$$m \frac{dv_{ay}}{dt} = -\frac{mg}{v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma)} (v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay})^2 + mg + m\omega^2 r \sin \alpha$$

або

$$\frac{dv_{ay}}{dt} = -\frac{g}{v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma)} \left[ (v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay})^2 - v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma) \left( 1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g} \right) \right].$$

Відокремлюючи змінні, отримаємо рівняння:

$$\frac{v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma)}{g} \int \frac{d(v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay})}{(v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay})^2 - v_{kp}^2 \sin(\beta + \gamma) \left( 1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g} \right)} = dt.$$

Після інтегрування отримаємо загальний розв'язок рівняння (7):

$$\frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}}{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \ln \left| \frac{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right| = t + C_3. \quad (12)$$

Постійну інтегрування  $C_3$  знайдемо при  $t = 0$  та  $v_{ay} = 0$ :

$$C_3 = \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}}{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \ln \left| \frac{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_n \sin(\beta + \gamma) + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right|.$$

Підставивши знайдене значення  $C_3$  в загальний розв'язок (12), отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}}{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \ln \left| \frac{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right| \times \\ \times \frac{v_n \sin(\beta + \gamma) + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} = t. \end{aligned}$$

$$\begin{cases} v_n \sin(\beta + \gamma) + v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} = P, \\ v_n \sin(\beta + \gamma) - v_{ay} - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} = U, \\ \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} = C, \end{cases} \quad (13)$$

будемо мати:

$$\ln \left| \frac{U - v_{ay}}{P - v_{ay}} \cdot \frac{P}{U} \right| = \frac{2gCt}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}} \rightarrow \frac{U - v_{ay}}{P - v_{ay}} = \frac{U}{P} e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}} t}.$$

Звідси знайдемо значення  $U_{By}$

$$v_{ay} = \frac{UP \left( 1 - e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}} t} \right)}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta + \gamma)}} t}}. \quad (14)$$

Оскільки  $v_{ey} = \frac{dy}{dt}$ , то інтегруючи (14), знайдемо переміщення У:

$$Y = \int \frac{UP \left( 1 - e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right) dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}} = UP \left( \int \frac{dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} - \int \frac{e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}} \right) = UP(I_1 - I_2),$$

де

$$I_1 = \int \frac{dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} = \frac{t}{P} - \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCP} \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| + C_4,$$

$$I_2 = \int \frac{e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} dt}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}} = -\frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCU} \int \frac{d \left( P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right)}{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}} = -\frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCU} \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| + C_5.$$

Таким чином, дістанемо

$$Y = UP \left( \frac{t}{P} - \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCP} \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| + \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gCU} \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| \right) + C_6,$$

де  $C_6 = C_4 + C_5$ .

Виконавши перетворення, отримаємо загальний розв'язок рівняння  $v_{ey} = \frac{dy}{dt}$

$$Y = Ut - \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gC} (U - P) \ln \left| P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}} \right| + C_6. \quad (15)$$

Постійну інтегрування  $C_6$  знайдемо при  $t = 0$  та  $Y = 0$ :

$$C_6 = \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gC} (U - P) \ln |P - U|.$$

Підставивши знайдене значення  $C_6$  в загальний розв'язок (15), отримаємо:

$$Y = Ut - \frac{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{2gC} (U - P) \ln \left| \frac{P - U e^{\frac{2gC}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} t}}}{P - U} \right|.$$

Враховуючи позначення (13), отримаємо координату У – переміщення по осі у:

$$Y = \left( v_n \sin(\beta+\gamma) - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} \right) t + \frac{v_{kp}^2 \sin(\beta+\gamma)}{g} \ln \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{v_n \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{v_{kp} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} + \left( 1 - \frac{v_n \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{v_{kp} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right) e^{\frac{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}} t} \right]. \quad (16)$$

Таким чином, отримали рівняння переміщення матеріальної частинки:

$$\begin{aligned} X &= v_n \cos(\beta+\gamma)t - \\ & \frac{v_{kp}^2 \cos(\beta+\gamma)}{g} \ln \left[ \cos \left( \frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta+\gamma)}} t \right) + \frac{v_n \cos(\beta+\gamma) \sqrt{g}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta+\gamma)}} \cdot \sin \left( \frac{\omega \sqrt{gr \cos \alpha}}{v_{kp} \sqrt{\cos(\beta+\gamma)}} t \right) \right], \\ Y &= \left( v_n \sin(\beta+\gamma) - v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}} \right) t + \\ & \frac{v_{kp}^2 \sin(\beta+\gamma)}{g} \ln \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{v_n \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{v_{kp} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} + \left( 1 - \frac{v_n \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}}{v_{kp} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}} \right) e^{\frac{2g \sqrt{1 + \frac{\omega^2 r \sin \alpha}{g}}}{v_{kp} \sqrt{\sin(\beta+\gamma)}} t} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Прийнемо для  $v_n$ ,  $v_{kp}$ ,  $\omega$ ,  $r$ ,  $\beta$  та  $\alpha$  наступні значення:  $v_n = 7$  м/с,  $v_{kp} = 5$  м/с (до оболікання насіння цукрового буряка і дикої редьки зволоженою речовиною),  $\omega = 6,28$  с<sup>-1</sup> ( $n = 60$  об./хв., а  $\omega = \frac{\pi n}{30}$ ),  $r = 0,025$  м,  $\alpha = 15^\circ$  та  $\beta = 30^\circ$ . Кут  $\gamma$  визначимо за формулою (8):

$$\begin{aligned} \sin \gamma &= \frac{\omega r}{v_e} \sin(\alpha + \beta) \rightarrow \gamma = \arcsin \left( \frac{\omega r}{v_e} \sin(\alpha + \beta) \right) = \\ &= \arcsin \left( \frac{6,28 \cdot 0,025}{\sqrt{7^2 + (6,28 \cdot 0,025)^2} - 2 \cdot 7 \cdot 6,28 \cdot 0,025 \cdot \cos(15^\circ + 30^\circ)} \sin(15^\circ + 30^\circ) \right) = 0,9^\circ. \end{aligned}$$

Припустимо, що насіння цукрового буряка і дикої редьки мають однакову парусність (силу тяжіння). Якщо їх оболікати зволоженою речовиною, яка є природним компонентом ґрунту, щільність якого більше за щільність насіння, то оскільки насіння цукрового буряка має більш шершаву поверхню, ніж насіння дикої редьки, перші змінюють свою масу сильніше, ніж другі. Внаслідок цього змінюється парусність (критична швидкість) насіння в різних пропорціях.

Якщо збільшити масу насіння цукрового буряка на 40%, а масу насіння дикої редьки на 20%, то, виходячи із формули (4)

$$v_{kp} = \sqrt{\frac{mg}{k\gamma_n F}}, \quad (18)$$

маємо, що критична швидкість насіння цукрового буряка збільшиться  $\approx 1,2$  рази (6 м/с), а критична швидкість насіння дикої редьки  $\approx 1,1$  рази (5,5 м/с).

В таблиці 1 наведено переміщення цукрового буряка та дикої редьки до та після оболікання. Також для цукрового буряка наведено переміщення X та Y при збільшенні критичної швидкості в 1,3 рази, тобто до 6,5 м/с.

За даними табл. 1 побудована залежність (рис. 3) траєкторії руху від часу t насіння цукрового буряка та дикої редьки до оболікання зволоженою речовиною (крива 1), траєкторії руху насіння дикої редьки після оболікання (крива 2), траєкторії руху насіння цукрового буряка після оболікання зволоженою речовиною (крива 3 при  $v_{kp} = 6$  м/с) та (крива 4 при  $v_{kp} = 6,5$  м/с). Кривою 5 показано положення дна похилого повітряного каналу, перетинання якого з траєкторіями руху компонентів дозволить розміщувати приймачі виходів насінневої суміші лабораторної установки. Надавання інших значень  $u_p$ ,  $v_{kp}$ ,  $\omega$ ,  $r$ ,  $\beta$  та  $\alpha$  дозволить визначити раціональні параметри та режими роботи лабораторної установки.

## Переміщення цукрового буряка та дикої редьки до обволікання речовиною та після обволікання

Значення $t, c$	Переміщення, м							
	компонентів насінневої суміші до обволікання ( $V_{кр} = 5,0$ м/с)		насіння дикої редьки після обволікання ( $V_{кр} = 5,5$ м/с)		насіння цукрового буряка після обволікання ( $V_{кр} = 6$ м/с)		насіння цукрового буряка після обволікання ( $V_{кр} = 6,5$ м/с)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0,1	0,073	0,001	0,063	0,011	0,055	0,012	0,048	0,024
0,2	0,257	0,006	0,225	0,052	0,198	0,064	0,176	0,104
0,3	0,516	0,015	0,457	0,137	0,408	0,171	0,366	0,258
0,4	0,829	0,034	0,743	0,285	0,669	0,346	0,606	0,501
0,5	1,184	0,069	1,071	0,514	0,972	0,604	0,886	0,841

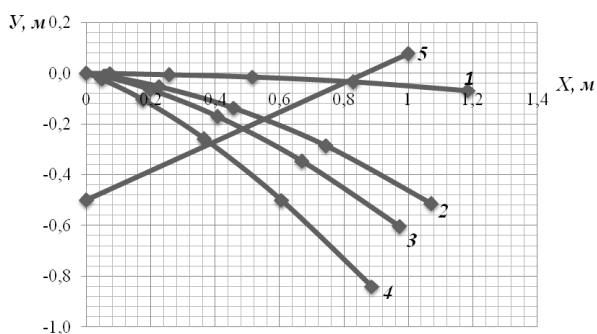


Рис. 3. Траєкторії руху насіння цукрового буряка та дикої редьки:

1 – траєкторія руху насіння цукрового буряка та дикої редьки до обволікання зволоженою речовиною; 2 – траєкторія руху насіння дикої редьки після обволікання; 3 – траєкторія руху насіння цукрового буряка після обволікання ( $V = 6$  м/с); 4 – траєкторія руху насіння цукрового буряка після обволікання ( $V = 6,5$  м/с); 5 – положення дна похилого повітряного каналу

Аналіз одержаних залежностей (17) показує, що очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки в похилому повітряному потоці можливо за зміною критичної швидкості компонентів суміші, які надходять з початковою швидкістю.

**Обговорення.** Аналіз отриманих залежностей (Holovchenko, 2019) показав, що мінімальний вміст дикої редьки відповідає подачі магнітного порошку 2,2 %. Із збільшенням подачі магнітного порошку вміст

дикої редьки в сходах зростає. На гірках з позовжнім рухом полотна часточки поділяються за формою з урахуванням шорсткості їх поверхні. Гладенькі часточки круглішої форми скочуються вниз, а більш плоскі шорсткі піднімаються полотном. На гірках можна якісно очистити насіння буряків. На гірках більш якісного очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки можна досягти із зменшенням продуктивності машини.

В статті (Wilber et al., 2021) науковцями було розроблено очищувач насіння та проведенні дослідження. Ними використовувалися відповідні інженерні розрахунки. Пристрій складався з педаль велосипедних, ємність куди засипалось насіння, вентилятора який подавав повітря та сит при допомозі яких відбувалось очищення.

Авторами була випробувана машина при різних кутах нахилу циліндричного сита 4, 7 і 10 градусів та за різних швидкостях сита 0,62; 0,88 та 1,08 м/с (Ghonimy, M. & Rostom, M. 2022).

**Висновки.** Одержані залежності по визначенню траєкторії руху у похилому повітряному потоці компонентів насінневої суміші: цукровий буряк – дика редька. Аналіз одержаних залежностей показує, що очищення насіння цукрового буряка від дикої редьки в похилому повітряному потоці можливо за зміною критичної швидкості компонентів суміші, які надходять з початковою швидкістю.

#### Бібліографічні посилання:

1. DSTU 2240-93. (1993). Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Sortovi ta posivni yakosti. Tekhnichni umovy [Seeds of agricultural crops. Varietal and sowing qualities. Technical conditions]. Kyiv: State Standard of Ukraine, 74. (in Ukrainian).
2. DSTU 4605:2006 Nasinnia kormovykh buriakiv. [Oilseeds. Methods for determination of moisture content]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 10. (in Ukrainian).
3. DSTU 4811-2007 (2009). Nasinnia oliinykh kultur. Metody vyznachennia volohosti [Oilseeds. Methods for determination of moisture content]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 10. (in Ukrainian).
4. DSTU 6068-2008. (2008). Nasinnia soniashnyku. Sortovi ta posivni yakosti. Tekhnichni umovy [Sunflower seeds. Varietal and sowing qualities. Technical conditions]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 7. (in Ukrainian).
5. DSTU 8140:2015 Nasinnia tsukrovyykh buriakiv bazysne. Posivni yakosti. Tekhnichni umovy [Nasinnia tsukrovyykh buriakiv bazysne. Posivni yakosti. Tekhnichni umovy] Instytut tsukrovyykh buriakiv Natsionalnoi akademii ahrarykh nauk Ukrainy (NAANU) Kyiv: State Standard of Ukraine, 74. (in Ukrainian).
6. Ghonimy, M. Rostom, M. (2022). Design and Performance Evaluation of Canola-Seed Cleaning Machine. Turkish Journal of Agricultural Engineering Research, 3 (2), pp. 214-230. DOI: 10.46592/turkager.1131804.
7. Holovchenko H. S. Kalnahuz O. M. Ochyshchennia nasinnia tsukrovoho buriaka vid mahnitnoho poroshku pislia obrobky na elektromahnitnykh nasinnieochysnykh mashynakh [Cleaning of sugar beet seeds from magnetic powder after processing on electromagnetic seed cleaning machines] Sumskyi NAU.. – 2018. – URL: <https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/7079/1/2.pdf>. (in Ukrainian).



8. Holovchenko H.S. (2020) Ochyshchennia nasinnia tsukrovoho buriaka vid dykoi redky na elektromahnitnykh nasinniochysnykh mashynoi za dopomohoiu zvolozhennia vykhidnoho materialu [Cleaning of sugar beet seeds from wild radish on electromagnetic seed cleaning machines with the help of moistening of the source material] Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: naukovyi zhurnal. – Ser. «Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychych protsesiv» / Sumy: SNAU, 2020. – Vyp. 1 (39). – S. 34-38. (in Ukrainian).
9. Holovchenko, H. (2019). Rezultaty doslidzhen po ochyshchenniu nasinnia tsukrovoho buriaka vid dykoi redky v zalezhnosti vid podachi mahnitnoho poroshku zi zmishuvanniam vykhidnoho materialu z mahnitnym poroshkom na elektromahnitnykh nasinniochysnykh mashynakh. [The results of research on the cleaning of sugar beet seeds from radish vetch depending on the supply of magnetic powder with mixing of the starting material with magnetic powder on electromagnetic seed cleaning machines] Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychych protsesiv, (4 (38), pp. 19-24. <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.4.4> (in Ukrainian).
10. Kharchenko, S. O., Kharchenko, F. M., Pankova, O. V., Bakum, M. V., & Kharchenko, D. O. (2022). Identyfikatsiia vlastyvoستي nasinnievkykh sumishei pry yikh podili na vibrovvidtsentrovnykh reshetnykh separatorakh. [Identification of the properties of seed mixtures during their separation on vibro-centrifugal sieve separators] Visnyk SNAU. Serii: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychych protsesiv, (2(48), pp. 83-87. <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.12> (in Ukrainian).
11. Mishra, A., Sinha, J. P., Singh, J. K., & Tomar, B. S. (2018). Development of solar powered pneumatic grain/seed cleaning system. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 88(11), 1676–1681. <https://doi.org/10.56093/ijas.v88i11.84890>
12. Sardorbek S. I. (2022) Determine Effectiveness of cotton Seed Cleaning and Sorting Machines. Journal Published by Muhammadiyah University Sidoarjo. DOI:10.21070/acopen.7.2022.4717.
13. Sysolin P.V. Teoriia, proektuvannia ta rozrakhunky posivnykh mashyn: navch. Posibnyk. [Theory, design and development of agricultural machines: Navch. helper.] / P.V. Sysolin. – K.: ISDO, 1994. – 148 s. (in Ukrainian).
14. Tsarenko O.M., Voitiuk D.H., Shvaiko V.M., Dovzhyk M.Ia., Yatsun S.S. (2003) Mekhaniko-tehnologichni vlastyvoستي silskohospodarskykh materialiv [Mechanical and technological properties of agricultural materials]: pidruch. dlia ahr. vyshch. navch. zakl. osvity II-IV rivniv akredyatsii zi spets. "Mekhanizatsiia silskoho hospodarstva" / red. S. S. Yatsun. – K. : Meta, 2003. – 448 s.: il. – Bibliohr.: s. 440. (in Ukrainian).
15. Uhlarik A., Popov S., Karagić D., Ponjičan O. (2018) Alfa seed cleaning using a magnetic separator. Journal on Processing and Energy in Agriculture 22(4): pp.192-195. – DOI:10.5937/jpea1804192U
16. Voitiuk D. H. (2008) Silskohospodarski mashyny: osnovy teorii ta rozrakhunku [Agricultural machines: the basics of theory and calculations]: navch. posibnyk dlia stud. ahrarnykh vyshchykh zakl. osvity III-IV rivniv akredyatsii zi spets. "Mekhanizatsiia silskoho hospodarstva" / D. H. Voitiuk [y dr.]; red. D. H. Voitiuk. – Sumy : Universytetska knyha, – 543 c. (in Ukrainian).
17. Wilber A., Peter T., Isaac O., Emmanuel B., Julia K., Ismael M. & Hussein B. K. (2021) Development and performance evaluation of a Pedal Operated Seed Cleaner (POS-Cleaner). SN Appl. Sci. 3, 675. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04612-6>.
18. Zaika P. M. Teoriia silskohospodarskykh mashyn. T.1, Ch.2. Mashyny dlia sivby ta sadinnia. [Theory of agricultural machines. T.1, Part 2. Cars for sivbi ta sadinnia.] Zaika P. M. – Kharkiv: Oho, 2002.-452 s. (in Ukrainian).

**Golovchenko G. S.,** Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Kalnahuz A. M.,** Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

### **Cleaning of sugar beet seeds in inclined air flow with initial velocity of components**

*Cleaning of agricultural crop seed is a necessary component to obtain the final product of the best quality. Therefore, for high-quality production of sugar beets, it is necessary to use high-quality sowing seeds. The seeds for sowing must be of high quality, namely physical purity, which in turn will allow us to obtain high yields.*

*When cleaning seeds, or grains, their mechanical and technological properties are used, namely: the shape of the seed surface; its so-called geometric dimensions (length, width and thickness); density and others. During the cleaning of the mixture of sugar beet and wild radish seeds, according to aerodynamic properties, scientists proved that the seeds of the latter crop have the highest critical speed – 7.5 m/s, against 6 m/c for sugar beet seeds.*

*Therefore, the division cannot be performed in this way. The article describes one of the methods of cleaning sugarcane seeds with an inclined air flow. This flow supplied the grain mixture according to the principle of dispersion of the trajectory of particles in the direction of the speed of the air flow. The rate of removal of sugar beet and wild radish seeds was determined by the ratio of the weight of the seeds that entered the upper receiver to the weight of the seeds of the lower receiver.*

*D. Alembert's principle was used during the study of the movement of sugar beet and wild radish seeds in an inclined air flow. Calculations were made to determine the critical speed of sugar beet seeds and wild radish seeds; air flow resistance forces. The dependences of the change in buoyancy on envelopment with a moistened substance are given.*

*In many scientific articles by scientists both from Ukraine and the world, methods and methods of cleaning the seeds of agricultural crops from impurities are given; the process of bleaching seed material on sieves is given. The obtained mathematical dependencies show us that only a change in the critical speed of the components of the mixture will allow us to better clean the sugar beet seeds in an inclined air flow that comes with the initial speed. Dependences on determining the relative speed of movement in the vertical air flow of the components of the seed mixture: sugar beet – wild radish are given.*

**Key words:** seed mixture, air flow, wind speed, critical speed, midel section, relative speed of movement.

## ПОТЕНЦІАЛ БІОГАЗУ І БІОМЕТАНУ З ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА

Бсіпов Олександр Вікторович

кандидат технічних наук, доцент

Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

ORCID: 0000-0002-7395-2892

lesipov\_al@ukr.net

Гринь Євген Леонідович

доктор економічних наук

Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

ORCID: 0000-0002-4927-8228

evgengrin@me.com

*Проблема ефективної переробки та утилізації відходів є однією з найгостріших у світі. За останні роки значно зросла увага до питань раціонального поводження з сільськогосподарськими відходами в Україні як з боку влади, так і з боку наукової спільноти. Вирішення проблеми можливо шляхом здійснення ефективних заходів для швидкої, безпечної переробки відходів та отримання позитивного економічного та екологічного ефекту від утилізації та повторного використання сировини.*

*Завдяки величезному територіальному потенціалу і великій кількості сільськогосподарських угідь, відносно низькій щільності населення і відносно сприятливому клімату країна має хороші початкові умови для виробництва торгівлі і використання біоенергії.*

*Біометан можна використовувати у якості палива для автомобілів. А після вироблення біогазу з біомаси, вона стає, біодобривом, яке є екологічно чистим і за своїм складом не поступається хімічним добривам. Ще одним фактором на користь біогазу є те, що біогазові установки (БГУ) не залежать від погоди (сонячних днів, поривів вітру) і можуть забезпечувати безперебійну роботу електростанцій при стабільних поставках сировини.*

*У встановленні теоретично можливого біогазового і біометанового потенціалу беруться до уваги тільки ті тварини, які мають найбільшу частку в усьому тваринницькому виробництві країни і можуть зробити суттєвий внесок у виробництво біогазу.*

*Після очищення біогазу від домішок, отриманий біометан через газорозподільчу мережу подається на електростанції для подальшого виробництва енергії або використовується в якості палива для автомобілів.*

*Слід зазначити, що однією з переваг біогазових установок є виробництво органічних добрив в процесі анаеробного перетравлення біомаси на біогазовій установці.*

*Їх використання не тільки поліпшить фізико-механічні властивості ґрунту, збільшить урожайність сільськогосподарських культур, але в майбутньому допоможе виробляти конкурентоспроможну екологічно чисту продукцію як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.*

**Ключові слова:** біогаз, енергетичні культури, біометан, біоенергетика, транспортне паливо, органічні добрива, відновлювальні джерела енергії.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.5>

**Постановка проблеми.** Застосування біогазу сприяє розвитку децентралізованого тепло-енергопостачання. Біогаз, доведений до якості природного газу, може використовуватися як для виробництва електроенергії та тепла в приватному і промисловому секторі, так і в якості пального для автомобілів на природному газі. Таким чином, виробництво і використання біогазу може стати суттєвим внеском до зменшення енергоімпорту, а також до підвищення безпеки постачання (Yesipov, Pikalov, 2019, с. 66).

**Виклад основного матеріалу.** Енергетичний потенціал біогазу та біометану складається з різних потенціалів.

Вони включають:

- Потенціал площ для вирощування енергетичних культур
- Теоретично можливий потенціал традиційних органічних добрив (твердий гній, гнійна рідота, курячий послід тощо)
- Потенціали переробної промисловості (органічні відходи)

- Потенціал для утилізації міських відходів
  - Підвищення ефективності вирощування енергетичних культур на гектар площі
  - Різні можливості використання біогазу, такі як виробництво чистої електроенергії, виробництво електроенергії і тепла (ТЕЦ) або використання як транспортного палива.
- Крім того політична та законодавча база, а також існуюча інфраструктура відіграють вирішальну роль у розвитку біоенергетики і ефективному використанні існуючих потенціалів.

**Матеріали і методи досліджень.** Виробництво електроенергії з біогазу відбувається за рахунок переробки тваринних або рослинних відходів, а також побутових відходів.

Це допомагає одночасно вирішити дві проблеми: зменшує негативний вплив відходів на навколишнє середовище; зменшені обсяги утворених відходів, що утилізуються у спеціальних місцях. Можливі напрями розвитку біогазових технологій в Україні представлені на рис. 1.

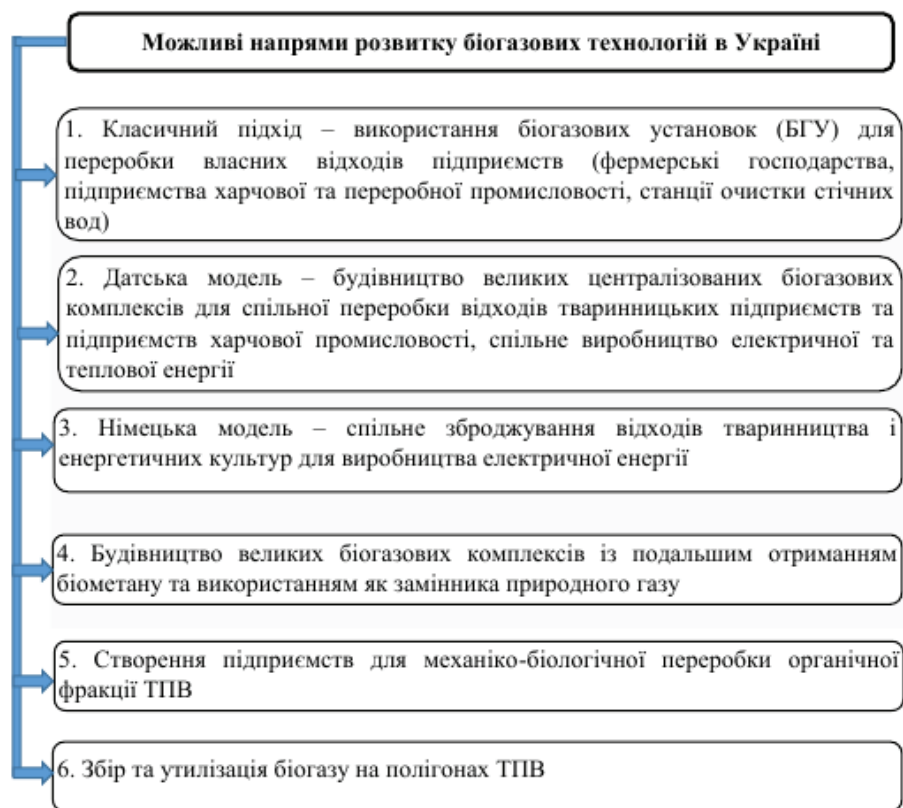


Рис. 1. Можливі напрями розвитку біогазових технологій в Україні

Висока початкова вартість інвестицій і досить довгострокова окупність (4–8 років) біогазових установок сприяє зменшенню кількості фактичних та потенційних інвесторів у ВДЕ.

Одним із рішень цієї проблеми є створення енергетичного кооперативу – добровільного об'єднання фізичних та/або юридичних осіб на пайовій основі для проведення спільної економічної діяльності у сфері енергоефективності або ВДЕ (Sakun, Riznichenko, Vielkin, 2020, с. 160-170).

Для того, щоб розрахувати економічну вигоду від будівництва та експлуатації біогазової установки з переробки гною великої рогатої худоби в рамках енергетичного кооперативу, можна розрахувати вартість виробництва електроенергії та термін окупності інвестиційного проекту, якщо надлишок електроенергії буде продано (сума що перевищує потреби в електроенергії енергетичного кооперативу) за тарифами відповідно з чинним законодавством.

Вартість електроенергії, виробленої біогазовою установкою можна розрахувати за методом енергоспоживання (LCOE), який широко використовується Міжнародним агентством з відновлюваної джерел енергії для оцінки вартості електроенергії з відновлюваних та невідновлюваних ресурсів (Sokolovska, 2013, с. 113-118).

LCOE – це середня вартість виробництва електроенергії протягом життєвого циклу електростанції (включаючи всі можливі інвестиції, витрати та доходи) (Kaletnik, Zdyrko, Fabiianska, 2018, с. 7-22). Іншими словами, це міні-

мальна ціна, за якою електроенергія, вироблена протягом життєвого циклу біогазової установки, повинна бути продана, щоб досягти своєї точки беззбитковості ( $NPV = 0$ ). Якщо  $NPV > 0$ , то грошових надходжень від проекту достатньо, щоб: окупити вкладений капітал і забезпечити необхідну віддачу цього капіталу. В іншому випадку, якщо  $NPV < 0$ , проект буде збитковим для інвесторів.

У встановленні теоретично можливого потенціалу біогазу та біометану беруться до уваги лише ті тварини, які мають найбільшу частку в загальному виробництві тварин у країні та можуть зробити значний внесок у виробництво біогазу. Сюди входять свині, корови та птиця. Для повноти в таблиці 1 також представлена кількість овець та кіз, яка не враховується при подальшому розрахунку енергетичного потенціалу.

Таблиця 1

**Кількість тварин в Україні**

Вид тварин	Кількість тварин, млн.
Свині	7,48
Корови (велика рогата худоба)	2,59
Птиця	199,52
Вівці і кози	1,74

Далі визначається вихід гною для одного виду тварин. Якість та кількість гною залежать від віку тварин, а також від місцевих рамок умов. В деяких регіонах гній має високий вміст вільної води, що негативно впливає на вихід біогазу.

Таблиця 2

**Вихід гною на кожен вид тварин**

Вид тварин	Кількість гною (м <sup>3</sup> /тварино місце x p)	Кількість гною (м <sup>3</sup> /100 тварино місце x p)
Свині	1,2-6,0	-
Корови (велика рогата худоба)	7,5-21,0	-
Птиця	-	7,5
Вівці і кози	-	-

В результаті обчислень отримуємо мінімальну і максимальну теоретично можливу загальну кількість гною на один вид тварин (таблиця 3).

Таблиця 3

**Мінімальна і максимальна загальна кількість гною на один вид тварин**

Вид тварин	Кількість гною (м <sup>3</sup> /р)	Максимальна кількість гною (м <sup>3</sup> /р)
Свині	8.976.000	44.880.000
Корови (велика рогата худоба)	19.425.000	54.390.000
Птиця	-	14.964.000
Вівці і кози	-	-

Дані про вихід біогазу і біометану використовуються для встановлення теоретично можливого потенціалу біогазу та біометану. Дані представлені в таблиці 4. Вихід біогазу може мати різне значення. Вирішальним фактором тут є вміст органічної сухої речовини. Часто вміст органічної сухої речовини набагато нижчий, ніж задані значення. Іншими причинами можуть бути різні якості корму та залежний склад субстрату.

Таблиця 4

**Середні показники залежного від субстрату виходу біогазу і біометану**

Вид тварин	Вихід біогазу (Нм <sup>3</sup> /т)	Вміст метану (%)	Вихід метану (Нм <sup>3</sup> /т)
Свині	28	65	17
Корови (велика рогата худоба)	25	60	14
Птиця	140	64	90
Вівці і кози	-	-	-

На основі встановленої загальної кількості гною та з урахуванням субстрактно-залежного виходу біогазу та біометану встановлюються лише теоретично можливі потенціали біогазу та біометану (таблиця 5 і таблиця 6).

Таблиця 5

**Теоретично можливий біогазовий потенціал традиційних органічних добрив (гній, твердий гній тощо) в Україні**

Вид тварин	Мін. вихід біогазу (млн. Нм <sup>3</sup> /т)	Макс. вихід біогазу гною (млн. Нм <sup>3</sup> /т)
Свині	251,33	1256,64
Корови (велика рогата худоба)	485,63	1359,75
Птиця	2094,96	2094,96
Вівці і кози	-	-
Загальний вихід	2831,91	4711,35

Теоретично можливий біогазовий потенціал органічних відходів тваринництва (рідкий гній, твердий гній тощо) знаходиться в межах між 2,8 і 4,7 млрд. Нм<sup>3</sup>/т (таблиця 5).

Таблиця 6

**Теоретично можливий біометановий потенціал традиційних органічних добрив (рідкий гній, твердий гній тощо) в Україні**

Вид тварин	Мін. вихід біогазу (млн. Нм <sup>3</sup> /т)	Макс. вихід біогазу гною (млн. Нм <sup>3</sup> /т)
Свині	152,59	762,96
Корови (велика рогата худоба)	271,95	761,46
Птиця	1346,76	1346,76
Вівці і кози	-	-
Загальний вихід	1771,30	2871,18

Теоретично можливий біометановий потенціал органічних відходів (рідкий гній, твердий гній тощо) знаходиться в межах між 1,8 і 2,9 млрд. Нм<sup>3</sup>/т (таблиця 6).

Ще однією перешкодою для максимального використання потенціалу є погана або навіть відсутня інфраструктура.

Ще одним ускладненням є те, що багато невеликих ферм чи домогосподарств, у яких є худоба, не можуть зібрати необхідну кількість органічних відходів для виробництва біогазу. Частка таких підприємств становить близько 50%. Отже, потенціал біогазу та біометану на основі традиційних органічних добрив буде зменшений приблизно на 50% до близько 3,7 Нм<sup>3</sup>/т біогазу та 2,4 Нм<sup>3</sup>/т біометану. Для встановлення точних результатів необхідно визначити відповідні місця розташування виробництва і взяти до уваги місцеві рамкові умови.

**Обговорення.** Формування енергетичних кооперативів вимагає детального підходу до вивчення техніко-економічних особливостей впровадження біогазових установок в Україні (Sakun, Riznichenko, Vielkin, 2020, с. 160-170). На даний час біогазові установки привертають дедалі більше уваги інвесторів, адже за умови належного планування та розрахунків, можете досягти значного економічного ефекту за відносно короткий час. Тому доцільно створювати енергетичні кооперативи, які забезпечуватимуть необхідну кількість сировини для біогазової установки.

Для забезпечення вигідного виробництва електроенергії з біогазу на основі гною великої рогатої худоби, потрібно 2000 голів великої рогатої худоби (ВРХ), які дають 100 т/день гною. При недостатніх обсягах гною від великої рогатої худоби доцільно використовувати також інші види сировини або комбінувати їх, наприклад, свинячий гній, рослинні відходи агропромислового комплексу та інше (Vielkin, Mazharenko, 2018, с. 271-273).

Теплову енергію можна використовувати для обігріву сільськогосподарських приміщень, теплиць, для сушіння насіння та центрального опалення в селі (Poliashenko, Yesipov, 2019, с. 49). Слід зазначити, що однією з переваг біогазових установок є виробництво органічних



добрив в процесі анаеробного перетравлення біомаси на біогазовій установці.

**Висновки.** Окрім фінансового ефекту від економії грошей на придбання мінеральних добрив, використання таких органічних добрив для ферм отримує позитивний агротехнічний ефект, викликаний їх перевагами, а саме: максимальне зберігання та накопичення азоту, висока абсорбція органічних речовин, відсутність насіння бур'янів та збудників мікрофлори, стійкістю до вимивання ґрунту тощо.

Таким чином, їх використання не тільки поліпшить фізико-механічні властивості ґрунту, збільшить урожайність сільськогосподарських культур, але в майбутньому допоможе виробляти конкурентоспроможну екологічно чисту продукцію як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.

На додаток до прибутку від продажу електроенергії за зеленим тарифом, можна отримати вигоду від споживання теплової енергії, яка виробляється без додаткового спалювання біогазу, шляхом охолодження електричного генератора.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Kaletnik, H. M., Zdyrko, N. H., Fabiianska, V. Yu. (2018). Biohaz v domohospodarstvakh – zaporuka enerhonezalezhnosti silskykh terytorii Ukrainy [Biogas in households is a guarantee of energy independence of rural areas of Ukraine]. *Ekonomika. Finansy. Menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*. № 8. S. 7-22. (in Ukrainian).

2. Khazhmuradov, M.A. (2006). Ustanovka ta tekhnolohiia po utylizatsii biohazu [Installation and technology for biogas utilization]. *Nauka ta innovatsii Kharkiv*: № 4. S. 19. (in Ukrainian).

3. Poliashenko, D. M., Poliashenko, S. O., Yesipov, O. V. (2019). Otrymannia teplovoi enerhii na osnovi biohazu [Production of heat energy based on biogas]. *Innovatsiini rozrobky v aharnii sferi : materialy Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia "Molod i tekhnichniy prohres v APV "* m. Kharkiv; T. 2. – S. 49. (in Ukrainian).

4. Sakun, L.M., Riznichenko, L.V., Vielkin, B.O. (2020). Perspektyvy rozvytku rynku biohazu v Ukraini ta za kordonom [Prospects for the development of the biogas market in Ukraine and abroad]. *Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia*. Vinnytsia: 1(37), s. 160-170. (in Ukrainian).

5. Sokolovska, I. Ya. (2013) Biohaz yak perspektyvnyi napriam vykorystannia vidkhodiv silskohospodarskoho vyrobnytstva [Biogas as a promising way of using agricultural production waste]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu biosursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. Ser. : *Ekonomika, aharnyi menedzhment, biznes*. Vyp. 181(1). – S. 113-118. (in Ukrainian).

6. Vielkin, B. O., Mazharenko, K.P. (2018). Problemy utylizatsii vidkhodiv na rehionalnomu rivni [Problems of waste disposal at the regional level]. *Materialy Mizhnarodnoho forumu «Aktualni problemy ta perspektyvy rozvytku natsionalnoho gospodarstva v umovakh hlobalnoi nestabilnosti»*. Kremenchuk: S. 271–273. (in Ukrainian).

7. Yesipov, O. V., Pikalov, A. V. (2019). Vykorystannia biometanu avtomobilnym transportom [Use of biomethane by road transport]. *Avtomobilnyi transport v aharnomu sektori: proektuvannia, dyzain ta tekhnolohichna ekspluatatsiia: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. S. 66. (in Ukrainian).

**Yesipov O. V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

**Hryn Ye. L.**, Doctor of Economic Sciences, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

#### **Potential of biogas and biomethane from organic animal waste**

*The problem of efficient waste recycling and disposal is one of the most acute in the world. In recent years, considerable attention has been paid to the issues of rational management of agricultural waste in Ukraine by both the authorities and the scientific community. The solution to the problem is possible by implementing effective measures for fast, safe recycling of waste and obtaining a positive economic and environmental effect from the disposal and reuse of raw materials.*

*Due to the huge territorial potential and a large number of agricultural lands, relatively low population density and relatively favorable climate, the country has good initial conditions for the production of trade and use of bioenergy.*

*Biomethane can be used as a fuel for cars. And after the production of biogas from biomass, it becomes a biofertilizer that is environmentally friendly and its composition is not inferior to chemical fertilizers. Another factor in favor of biogas is that biogas plants (BGP) do not depend on the weather (sunny days, gusts of wind) and can ensure the smooth operation of power plants with a stable supply of raw materials.*

*In establishing the theoretically possible biogas and biomethane potential, only those animals are considered that have the largest share in the total livestock production of the country and can make a significant contribution to biogas production.*

*After purification of biogas from impurities, the obtained biomethane through the gas distribution network is fed to power plants for further energy production or used as fuel for cars.*

*It should be noted that one of the advantages of biogas plants is the production of organic fertilizers in the process of anaerobic digestion of biomass in a biogas plant.*

*Their use will not only improve the physical and mechanical properties of the soil, increase the yield of agricultural crops, but in the future will help to produce competitive environmentally friendly products both on the domestic and foreign markets.*

**Key words:** biogas, energy crops, biomethane, bioenergy, transport fuel, organic fertilizers, renewable energy sources.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УМОВ ПРОВЕДЕННЯ ДИСКУВАННЯ НА ПОКАЗНИК ЯКОСТІ

**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

**Мельник Валентина Іванівна**

кандидат економічних наук, доцент  
Національний університет біоресурсів та природокористування України, м. Київ, Україна  
ORCID: 0009-0008-0269-2326  
vim2607@gmail.com

**Панкова Оксана Володимирівна**

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

**Коваленко Юрій Сергійович**

PhD студент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-1248-6311  
yuriy.kovalenko1981@gmail.com

*Інтенсивні процеси зміни клімату та зростаючі темпи зміни народонаселення на землі вимагають нових підходів до ефективності в аграрному виробництві. Кожний гектар необхідно використовувати максимально ефективно. Саме механізація вирощування агрокультур приховує скритий потенціал ефективності аграрного виробництва у галузі рослинництва. Однією з актуальних проблем галузі є забезпечення якості механізованих технологічних операцій. Врожайність аграрних культур у сучасних умовах на 25–30 % залежить від наявних засобів механізації.*

*Проведеними дослідженнями встановлено, що роботи, які присвячені ефективності виконання механізованих технологічних операцій, не містять даних і не передбачають можливість визначення та аналізу впливу якості виконання польових робіт машинними агрегатами на врожайність.*

*Аналіз літературних джерел, досвід агропідприємств та власні спостереження дають підстави зробити висновок, що робочі режими та параметри використання машинних агрегатів мають вплив на врожайність культур. Саме кількісний і якісний склад комплексу машин формує показник врожайності в розрізі механізації виконання операцій за рахунок ступеня забезпечення агрозимог. Під час польових досліджень ефективності використання машинних агрегатів на різних режимах роботи та при різних регулювальних параметрах, було встановлено різний ступінь забезпечення показника якості (створення умов машинним агрегатом у відповідності до потреб рослин). В реальних виробничих умовах встановлено вплив таких показників, як робоча швидкість, рівномірність глибини обробітку, робоча довжина гону, твердість ґрунту. Дослідження проводилися у різних господарствах Сумської області та на різних агрегатах протягом 5-ти років. Дослідження проводилися спільно з Лозівським ковальсько-механічним заводом, компаніями Eivorti та ATS Україна (Horsch) на території України.*

*Було досліджено показники якості при проведенні обробітку ґрунту дисковими знаряддями. Отримані емпіричні залежності дають можливість підвищити адекватність методики отримання техніко-експлуатаційних показників.*

**Ключові слова:** агрозимоги, агротехнічні вимоги, показник якості, врожайність.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.6>

**Вступ.** Аналізуючи аграрний сектор у світі, ми спостерігаємо інтенсивну зміну технологій вирощування аграрних культур, зміну якісного та кількісного складу

комплексів машин для галузі рослинництва, ми спостерігаємо якісні зміни у галузі селекції. І все це пов'язано з інтенсивною зміною кліматичних умов і темпами

зростання народонаселення на планеті. Задача механізації виробничих процесів – максимально забезпечити умови росту та розвитку агрокультури в мінімальні строки, тобто забезпечити показник якості виконання механізованих технологічних операцій. Водночас, проведений аналіз сучасних агротехнологій показує, що потенціал насіннєвого матеріалу у реальних виробничих умовах реалізовується на рівні до 70%. Це пов'язано з неповним забезпеченням потреб агрокультур, тобто недостатнім забезпеченням саме якості виконання механізованих технологічних операцій. Сучасні засоби механізації у комплексі з системами аналізу і контролю якості механізованого технологічного процесу мають потенціал до підвищення рівня забезпечення потреб агрокультур.

Сьогодні однією з актуальних проблем галузі виробництва продукції рослинництва є саме забезпечення якості механізованих технологічних операцій. Урожайність аграрних культур у сучасних умовах виробництва продукції рослинництва на 25–30% залежить безпосередньо від наявних засобів механізації. Водночас, забезпечення якості виконання механізованого технологічного процесу вирощування і збирання аграрної продукції на сьогодні є одним з провідних стратегічних напрямів розбудови аграрного виробництва. Воно базується на забезпеченні виконання агротехнічних вимог машинними агрегатами, які використовуються у полі, що у свою чергу пов'язано з налаштуванням діючих зразків засобів механізації та виробництва нових зразків техніки.

Пропонується вирішити поставлену проблему шляхом імітаційного моделювання за рахунок врахування умов вирощування культур у відповідності до локації та використання техніки відповідно до потреб рослин.

Продуктивність виробництва аграрних культур залежить від ефективності вибору агротехніки у відповідності до умов вирощування та режимів їх роботи на всіх етапах, починаючи від основного обробітку ґрунту і завершуючи збиранням врожаю.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Пошук критеріїв оптимізації технологічних процесів та ефективності використання агрегатів змінюються та доповнюються у відповідності до змін машин аграрного виробництва та досягнень у науці і техніці.

Вклад у розвиток цифровізації оптимізаційних задач використання машинних агрегатів при виробництві продукції рослинництва були зроблені науковцями на чолі з І. І. Мельником (Bondar, 2002; Bondar & Melnyk, 2000; Melnyk I.I. et al. 2001). В роботах досліджуються питання оптимізації структури цілому машинного парку. Розроблена математична модель характеризується фокусом на забезпечення оптимізації з урахуванням таких факторів, як: площі полів, кількості сгенерованих машинних агрегатів, забезпеченості поточності виробничих процесів. Оцінка ефективності використання агротехніки багатокритеріальна і проводиться за критеріями: продуктивність, собівартість, затрати робочого часу, матеріаломісткість, витрати палива. Структура роботи системи: технологія вирощування культури – машинні агрегати – комплекси машин. Робота програми дозволяє визначити параметри та режими використання техніки для засобів

механізації; розрахунок техніко-експлуатаційних параметрів техніки; обґрунтування нормативу потреби в засобах механізації для господарств з різними сівозмінами та при різних площах вирощування продукції рослинництва; дослідження комплексів машин для різних технологій вирощування культур; визначення затратної частини на обслуговування, ремонт та зберігання аграрної техніки. Питаннями обґрунтування технологій вирощування культур у відповідності до умов вирощування культур та рівня забезпечення господарств технікою вивчав у своїх наукових працях В. Д. Гречкосій (Hrechkosii et al., 2013).

Наукові дослідження В. І. Пастухова також були використані при створенні програмного продукту з метою швидкого отримання результату щодо ефективності використання машинних агрегатів при вирощуванні продукції рослинництва. Програмний продукт для обґрунтування оптимальних комплексів машин, створений В. І. Пастуховим (Pastukhov, 2006), використовує імітаційне моделювання, яке базується на сукупності відмінностей: карт поля з інформацією про рельєф поля та його питомий опір, що забезпечує отримання реальної робочої швидкості машинного агрегату з обґрунтуванням коефіцієнта буксування агрегату, робоче значення витрат палива, дію екологічних параметрів та їх ранжування та обґрунтування вагомості під час забезпечення технологічного процесу виробництва продукції рослинництва.

Розроблені методи та програмні продукти використовують для дослідження з подальшим обґрунтуванням власних виробничих процесів і потужностей, здобувають ринкові переваги за рахунок підвищення ефективності власної роботи, зокрема, завдяки прогнозуванню результатів діяльності підприємств, максимальної реалізації можливостей оптимального управління, зниженню собівартості продукції рослинництва (Pastukhov, 2006).

З метою ефективного використання машинних агрегатів при збиранні та транспортуванні врожаю Л. О. Флегантовим та Ю. І. Овсієнковою (Flephantov & Ovsienko, 2019) створено математичну модель роботи машинних агрегатів з метою оптимальної кількості техніки для виконання відповідних робіт та розрахунку можливих ймовірностей станів системи, який оснований на використанні замкненої системи масового обслуговування. Робота машинних агрегатів при виконанні механізованих технологічних операцій представлена у вигляді процесу «загибелі-народження» та моделюється на основі системного підходу. У методиці критерій оптимізації визначений як мінімізація собівартості від позапланового простою агротехніки, який є наслідком випадкових причин.

Проведеними дослідженнями було встановлено, що роботи, які присвячені ефективності виконання механізованих операцій, не містять даних і не передбачають можливість визначення та аналізу впливу якості виконання польових робіт машинними агрегатами на урожайність (Kovtun et al., 2000; Melnyk et al., 2007).

Проведеним аналізом виявлено, що в сучасних методах розрахунку ефективності використання машинних агрегатів та оптимізації комплексів машин лише частково враховані сучасні технології вирощування агрокультур, відсутні бази полів із визначенням умов вирощування

агрокультур; механізованих технологічних операцій; машин та енергетичних засобів; систем моніторингу якості роботи агрегатів. Відсутня прозора методика економічної оцінки ефективності використання механізованих агротехнологій з урахуванням коефіцієнта якості.

**Постановка завдання.** Обґрунтування методики розрахунку показників ефективності використання машинних агрегатів при виконанні механізованих робіт з урахуванням впливу робочої швидкості, рівномірності глибини обробітку, робочої довжини гону, твердості ґрунту та їх вплив на зміну врожайності культур та якість продукції.

**Матеріали і методи дослідження.** Аналіз літературних джерел, досвід агропідприємств та власні спостереження дають підстави зробити висновок, що робочі режими та параметри використання машинних агрегатів мають вплив на врожайність культур.

Кожна окрема одиниця аграрної техніки для виконання механізованої технологічної операції комплектується у машинний агрегат, який безпосередньо виконує операцію. Машинні агрегати, які забезпечують кожну операцію у технології вирощування складають комплекс машин для вирощування аграрної культури. Саме кількісний і якісний склад комплексу машин формує показник врожайності у розрізі механізації виконання операцій за рахунок ступеня забезпечення агропромислом. Основою для визначення втрат врожаю агрокультури з урахуванням можливостей техніки забезпечити агропромисли є доля зниження врожаю (Melnyk & Zubko, 2009).

На кожній технологічній операції граничний показник забезпечення агропромислом (Melnyk & Zubko, 2009):

$$B_i = (100 - C_i) / 100, \quad (1)$$

де  $C_i$  – вплив  $i$ -ї операції на зниження врожаю, %.

Втрати врожаю агрокультури прямопропорційні забезпеченню агропромислом машинним агрегатом. Залежність граничного забезпечення значення агропромислом на технологічній операції ( $O$ ) від показника якості забезпечення операції агрегатом ( $k_{ма}$ ) описується рівнянням  $O = a \cdot k_{ма} + b$  (Melnyk & Zubko, 2009). Доведено:

$$\sum_{i=1}^l a_i = 1;$$

$$\sum_{i=1}^l b_i = N - a,$$

де  $N$  – загальна кількість механізованих технологічних операцій.

Граничний показник забезпечення вимог безпосередньо комплексом машин:

$$O = (\sum_{i=1}^l P_i) / N, \quad (2)$$

де  $P_i$  – значення показника забезпечення вимог  $i$ -ї операції.

Для конкретного комплексу машин підставивши замість  $k_{ма}$  показник якості кожної машини отримаємо загальне значення втрат врожаю (Melnyk & Zubko, 2009).

$$V = (1 - O) \cdot 100 \cdot N. \quad (3)$$

Остаточне значення показника врожайності агрокультури для конкретного комплексу машин дорівнює:

$$U_{ф.а} = (U_3(100 - F)) / 100, \quad (4)$$

де  $U_3$  – планова врожайність, т/га;

$F$  – показник зниження урожайності, %.

Значення показника агропромислом енергетичних засобів та аграрних машин формується:

$$k_m = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^E (1 - \frac{A_{mi} - A_{si}}{G}), \quad (5)$$

де  $E$  – загальна кількість показників;

$A_m$  – значення показника агропромислом агромашин;

$A_s$  – значення показника агропромислом до механізованої технологічної операції;

$G$  – показник механізованої технологічної операції (наприклад, норма висіву, глибина обробітку тощо).

На основі даних формується показник якості виконання механізованих технологічних операцій агрегатом (Melnyk & Zubko, 2009):

$$k_{ма} = 1 - \sum_{i=1}^{n_m} k_{m_i}, \quad (6)$$

де  $n_m$  – кількість машин у складі агрегату.

Значення показника якості робіт комплексом машин, який досліджується, формується наступним чином:

$$k_{KM} = 1 - (\sum_{i=1}^N k_{ма_i} / N). \quad (7)$$

Під час польових досліджень ефективності використання машинних агрегатів на різних режимах роботи та при різних технологічних параметрах, було встановлено різний ступінь забезпечення показника якості (створення умов машинним агрегатом у відповідності до потреб рослин). В реальних виробничих умовах встановлено вплив таких показників, як: робоча швидкість, рівномірність глибини обробітку, робоча довжина гону, твердість ґрунту.

Аналіз результатів польових досліджень показує, що робоча швидкість має вплив на якість, а саме:

- при проведенні обробітку ґрунту дисковими знаряддями та при оранці зниження фактичної робочої швидкості впливає на ступінь кришення ґрунту, знижуючи його, знижується відсоток заробляння рослинних рештків, не забезпечується глибина обробітку;

- при проведенні сівби збільшення показника швидкості впливає на рівномірність глибини сівби, виникає ефект галопування посівного матеріалу, у насіннєвому ложі спостерігається більший відсоток осипаного ґрунту;

- при проведенні обприскування збільшення швидкості призводить до зносу робочого розчину, рівномірності нанесення робочого розчину на рослину;

- при проведенні збирання підвищення робочої швидкості призводить до зростання втрат продукції, збільшення відсотку пошкодженого врожаю.

Аналіз результатів польових досліджень показує, що глибина обробітку має вплив на якість, а саме:

- при проведенні обробітку ґрунту дисковими знаряддями збільшення робочої глибини обробітку ґрунту впливає на ступінь кришення ґрунту, збільшуючи його, підвищується відсоток заробляння рослинних рештків, підвищується відсоток подрібнення рослинних рештків, а значить і зменшує час на їх розкладання;

- при проведенні сівби збільшення показника глибини впливає на рівномірність по глибини сівби, збіль-



шення показника глибини забезпечує підвищення стійкості руху сошника та зменшує його коливання у борозні, збільшення глибини дозволяє проводити сівбу, як правило, у більш вологий ґрунт.

Аналіз результатів польових досліджень показує, що довжина гону має вплив на якість, а саме: при виконанні механізованої технологічної операції у машинного агрегату є технологічний розгін на початку гону та технологічне гальмування в його кінці. Саме ці ділянки характеризуються низьким показником якості. Це пояснюється виходом на робочий режим машинного агрегату і забезпечення робочими органами встановлених показників якості.

Аналіз результатів польових досліджень показує, що твердість ґрунту має вплив на якість, а саме:

- при проведенні обробітку ґрунту дисковими знаряддями та при оранці збільшення фактичної твердості ґрунту підвищує опір машинного агрегату, передують ущільненню ґрунту, створює умови, при яких робочому органу важко «влизати у ґрунту», передують нерівномірності обробітку ґрунту;

- при проведенні сівби збільшення твердості ґрунту впливає на рівномірність глибини сівби.

Все це приводить до зростання навантаження на техніку та зниження її ресурсу.

Для реалізації поставлених завдань та досягнення мети було заплановано ряд експериментальних досліджень та польових експериментів. Експериментальні дослідження поділялися на лабораторно-польові випробування та обчислювальні експерименти.

Дослідження проводились у різних господарствах Сумської області та на різних агрегатах протягом 5-ти років: дослідні поля Сумського НАУ, СТОВ «Промінь», ТОВ «Ворожба-Латінвест», СТОВ ім. Шевченка, ТДВ «Племзавод Михайлівка», ФГ «Кузін В. С.», на полях Інституту сільського господарства Північного Сходу. Досліджені умови, у яких вироблялась аграрна продукція, зміна властивостей посівного матеріалу й рослин та інші умови, які вимагає агрокультура для росту й розвитку.

Дослідження проводилися спільно з Лозівським ковальсько-механічним заводом, компаніями Elvortі та ATS Україна (Horsch) на території України.

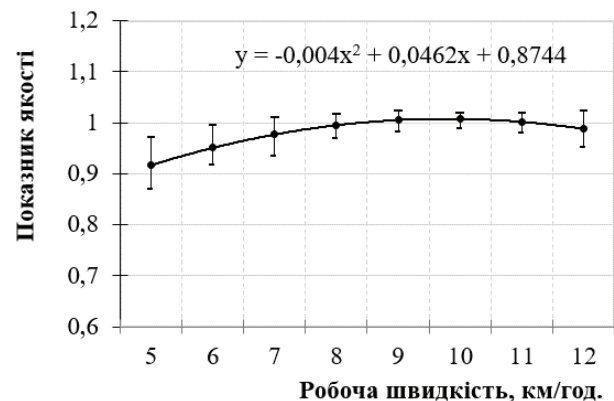
Отже, при проведенні обробітку ґрунту дисковими знаряддями визначені такі (таблиця 1) показники якості з допусками (Biletskyi et al., 2010; Saiko et al, 2015).

Проведені дослідження направлені на підвищення адекватності методики розрахунку техніко-експлуатаційних показників роботи машинних агрегатів (Melnyk et al, 2015). Результати аналізу даних, отриманих за вдосконаленою методикою, можуть бути використані при обґрунтуванні складу машинних агрегатів і парку машин в цілому для виробництва продукції рослинництва.

Для визначення показників якості роботи машинних агрегатів у польових умовах використано методики визначення показників якості та контролю умов проведення механізованих технологічних операцій, за процесом створення умов росту й розвитку рослин, розміщення насіння у середовищі росту й розвитку, накопичення енергії (маси) агрокультурою, збереження накопиченої маси.

Було досліджено показники якості при проведенні обробітку ґрунту дисковими знаряддями з використанням агромашин Дука́т 2,5, Дука́т 8, PALLADA, HORSCH Joker 6 RT.

На рис. 1 наведені результати досліджень роботи дискових агрегатів при різній робочій швидкості.



**Рис. 1. Зміна показника якості при зміні робочої швидкості**

Дослідження проводились на швидкісному режимі з урахуванням тих режимів, які найчастіше використовують при проведенні механізованої технологічної операції. Слід зауважити, що існують режими розгону, гальмування, об'їзду перешкод, вплив розміру полів.

Таблиця 1

**Основні показники та вимоги і допуски до дискування**

Показники	Вимоги та допуски
Відхилення середньої фактичної глибини обробітку ґрунту дисковими знаряддями, мм	не більше ± 15
Вирівняність поверхні поля (довжина профілю), м	не більше 10,5 на відрізьку 10
Агрегатний стан ґрунту, мм	грудки не більше 35
Глибина западин або висота гребнів після обробки, см	не більше 4
Перекриття суміжних проходів агрегатів (для дискових луццильників), мм	150–200
Підрізання бур'янів, %	100
Допустима кількість незаробленої стерні, %	до 4
Огріхи, необроблені смуги	не допускаються

Проведеними дослідженнями встановлено, що оптимальний швидкісний режим для виконання дискування є 8,5–10,5 км/год. Отримано рівняння, яке описує залежність показника якості виконання дискування та швидкості, а саме:

$$k_{\text{я}} = -0,004V_p^2 + 0,0462V_p + 0,8744 \quad (8)$$

де  $k_{\text{я}}$  – показник якості;

$V_p$  – робоча швидкість, км/год.

На рис. 2 наведені результати досліджень роботи дискових агрегатів при різній глибині обробітку.

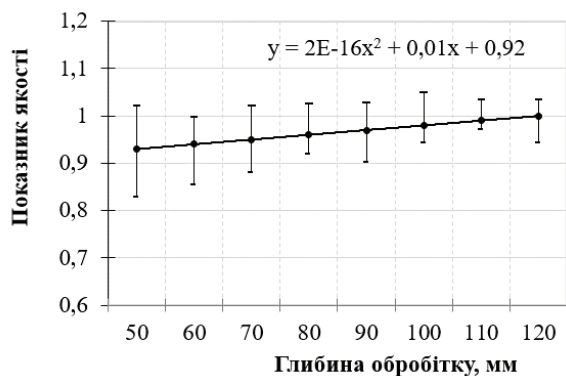


Рис. 2. Зміна показника якості при зміні глибини обробітку

Дослідження проводились при різній глибині обробітку з урахуванням тих режимів, які найчастіше використовують при проведенні механізованої технологічної операції. Проведеними дослідженнями встановлено, що оптимальною глибиною обробітку для виконання дискування є глибина від 120 мм. Отримано рівняння, яке описує залежність показника якості виконання дискування та глибини обробітку, а саме:

$$k_{\text{я}} = 2E-16a^2 + 0,01a + 0,92 \quad (9)$$

де  $a$  – глибина обробітку, мм.

На рис. 3 наведені результати досліджень роботи дискових агрегатів при різній довжині гону.

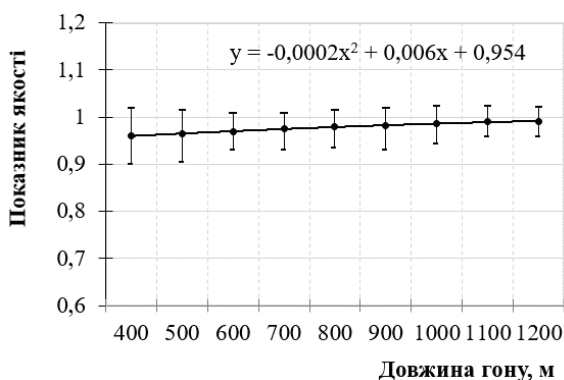


Рис. 3. Зміна показника якості при зміні довжини гону

Дослідження проводились на полях різної форми і з різними розмірами. Слід зауважити, що існують режими розгону, гальмування, об'їзду перешкод, вплив розміру полів, які особливо впливають на показник якості

виконання дискування. Доведено, що довжина гону має істотний вплив на забезпечення якості. Тому, чим більше значення має довжина гону, тим вищий показник якості буде в результаті. Отримано рівняння, яке описує залежність показника якості виконання дискування та довжини гону, а саме:

$$k_{\text{я}} = -0,0002L^2 + 0,006L + 0,954 \quad (10)$$

де  $L$  – довжина гону, км/год.

На рис. 4 наведені результати досліджень роботи дискових агрегатів при різній твердості ґрунту.

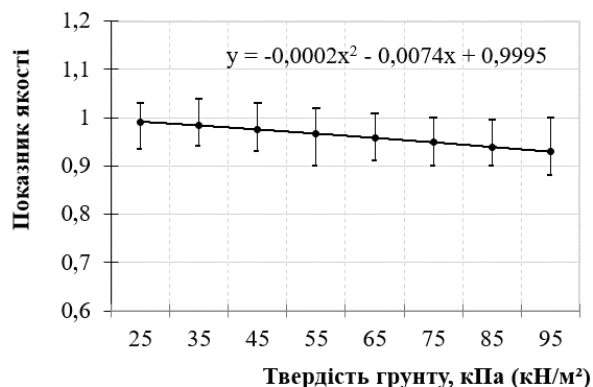


Рис. 4. Зміна показника якості при зміні твердості ґрунту

Дослідження проводились на полях з різною твердістю ґрунту. Це пов'язано з різними ґрунтово-кліматичними умовами, різними сівозмінами, різними технологіями вирощування культур. Проведеними дослідженнями встановлено, що твердість ґрунту має істотний вплив на забезпечення якості. Чим вище значення твердості ґрунту, тим нижчий показник якості буде в результаті. Отримано рівняння, яке описує залежність показника якості виконання дискування та твердості ґрунту, а саме:

$$k_{\text{я}} = -0,0002P^2 - 0,0074P + 0,9995 \quad (11)$$

де  $P$  – твердість ґрунту, кПа (кН/м<sup>2</sup>).

**Висновки.** В сучасних умовах і навколишнє середовище і машини претирпають суттєвих системних змін. В результаті проведених досліджень встановлено залежність робочої швидкості, глибини обробітку, довжини гону та твердості ґрунту на забезпечення показника якості, який, в свою чергу, характеризує забезпечення потреб рослин (агротехнічні вимоги). Результати досліджень представляють необхідність дослідження режимів роботи машин.

Проведеними дослідженнями встановлено, що оптимальний швидкісний режим для дискування є 8,5–10,5 км/год. В результаті досліджень отримано рівняння, яке описує залежність показника якості виконання дискування та швидкості:  $k_{\text{я}} = -0,004V_p^2 + 0,0462V_p + 0,8744$

Проведеними дослідженнями встановлено, що оптимальною глибиною обробітку для виконання дискування є глибина від 120 мм. В результаті досліджень отримано рівняння, яке описує залежність показника якості виконання дискування та глибини обробітку:  $k_{\text{я}} = 2E-16a^2 + 0,01a + 0,92$ .

Проведеними дослідженнями встановлено, що довжина гону має істотний вплив на забезпечення якості. Тому, чим більше значення має довжина гону, тим вищий показник якості буде в результаті. На основі проведених досліджень отримано рівняння, яке описує залежність показника якості виконання дискування та довжини гону:  $k_p = -0,0002L^2 + 0,006L + 0,954$ .

Дослідженнями встановлено, чим вище значення твердості ґрунту, тим нижчий показник якості буде у результаті. Отримано рівняння, яке описує залежність

показника якості виконання дискування та твердості ґрунту:  $k_p = -0,0002P^2 - 0,0074P + 0,9995$ .

Водночас отримані дані планується використати у методиці визначення техніко-експлуатаційних показників роботи машинних агрегатів та комплексного розрахунку ефективності використання комплексу машин при виробництві продукції рослинництва.

Отримані емпіричні залежності дають можливість підвищити адекватність методики отримання техніко-експлуатаційних показників.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Bondar S. M. (2002). Obgruntuvannia ratsionalnogo skladu ta efektyvnoho vykorystannia kompleksiv mashyn dlia osnovnoho obrobittu ґрунту v umovakh zony Polissia Ukrainy [Justification of the rational composition and effective use of machine complexes for the main tillage in the conditions of the Polissia zone of Ukraine]: Avtoreferat dysertatsii kandydata tekhnichnykh nauk: 05.05.11 mashyny i zasoby mekhanizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva. Kyiv. 19 s. (in Ukrainian).
2. Bondar S. M., Melnyk I. I. (2000). Osnovni problemy mashynovykorystannia v suchasnykh tekhnolohiiakh obrobittu ґрунту Polissia Ukrainy [The main problems of machine use in modern technologies of soil cultivation in the Polish region of Ukraine]. Naukovyi visnyk NAU. Vyp. 33. S.101-107 (in Ukrainian).
3. Melnyk I. I., Marchenko V. V., Mykhailovych Ya. M. (2001). Optymizatsiia kompleksiv mashyn i struktury mashynnoho parku ta planuvannia tekhnichnoho servisu [Optimization of machine complexes and the structure of the machine park and planning of technical service]. Kyiv: NAU. 120 s. (in Ukrainian).
4. Hrechkosii V. D., Dmytryshak M. Ya., Shatrov R. V., Mokriienko V. A. (2013). Kompleksna mekhanizatsiia buriakivnytstva [Complex mechanization of beet growing]. Vinnytsia: Nilan. 357 s. (in Ukrainian).
5. Pastukhov V. I. (2006). Obgruntuvannia optymalnykh kompleksiv mashynnykh ahrehativ dlia mekhanizatsii polovykh robit [Justification of optimal complexes of machine units for the mechanization of field work.]. Dysertatsiia na здобuttia naukovoho stupenia doktora tekhnichnykh nauk po spetsialnosti 05.05.11 – mashyny i zasoby mekhanizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva. Kharkiv. 419 s. (in Ukrainian).
6. Flehantov L. O., Ovsiienko Yu. I. (2019). Optymizatsiia kilkisnoho skladu zbyralno-transportnoho kompleksu silskohospodarskykh mashyn zasobamy Excel [Optimizing the quantitative composition of the collection and transport complex of agricultural machines using Excel.]. Kharkivskiy Natsionalnyi tekhnichnyi universytet silskoho hospodarstva. Vyp. № 199. S. 366-379. (in Ukrainian).
7. Kovtun Yu. I., Mazorenko, D. I., Pastukhov, V. I. (2000). Ahrokalimetriia [Agroqualimetry]. Kharkiv: RVP Oryhinal. 312 s. (in Ukrainian).
8. Melnyk I. I., Tyvonenko I. H., Fryshev S. H. (2007). Inzhenernyi menedzhment. Navchalnyi posibnyk [Engineering management. Tutorial]. Vinnytsia: Nova knyha. 536 s. (in Ukrainian).
9. Melnyk I. I., Zubko V. M., Khvorost T. V. (2015). Informatsiina tekhnolohiia otsinky roboty mashynnykh ahrehativ [Information technology for evaluating the operation of machine units.]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. - Vyp. 156. - S. 222-230. (in Ukrainian).
10. Biletskyi Ye. M., Bobro M. A., Bulyhin S. Yu. (2010). Suputnyk ahronoma: (dovidnyk) [Agronomist's companion: (handbook)]. Kharkov: KhNAU. 256 s. (in Ukrainian).
11. Saiko V. F., Maliienko A. M., Kolomiets M. V. (1987). Dovidnyk po vyznachenni yakosti polovykh robit [Guide to determining the quality of field work]. Kyiv: Urozhai. 120 s. (in Ukrainian).
12. Melnyk I. I., Zubko V. M. (2009). Metodyka prohnozuvannia vtrat vrozhaiu ozymoho ripaku z urakhuvanniam mozhyvostei zabezpechennia ahrovymoh vykonannia operatsii mashynnykh ahrehatamiyu [The method of forecasting winter rapeseed crop losses, taking into account the possibilities of meeting the agricultural requirements of performing operations with machine units]. Naukovyi visnyk Natsionalnogo universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. – Kyiv: NUBiP. 2 Vyp. 134, ch.2. – S. 37-41. (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

**Melnyk V. I.**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

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

**Kovalenko Yu. S.**, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Investigation of the influence of discussion conditions on the quality indicator**

The intense processes of climate change and the growing pace of population change on earth require new approaches to efficiency in agricultural production. Every hectare must be used as efficiently as possible. It is the mechanization of the cultivation of agricultural crops that hides the hidden potential of the efficiency of agricultural production in the field of crop

production. One of the urgent problems of the industry is ensuring the quality of mechanized technological operations. The productivity of agricultural crops in modern conditions depends on 25–30% of the available means of mechanization.

The conducted studies established that the works devoted to the efficiency of mechanized technological operations do not contain data and do not provide for the possibility of determining and analyzing the impact of the quality of field work performed by machine units on productivity.

The analysis of literary sources, the experience of agricultural enterprises, and our own observations give grounds for concluding that the working modes and parameters of the use of machine aggregates have an impact on the yield of crops. It is the quantitative and qualitative composition of the complex of machines that forms the yield indicator in terms of the mechanization of operations due to the degree of provision of agricultural requirements. During field studies of the effectiveness of the use of machine units in different operating modes and with different control parameters, a different degree of ensuring the quality indicator was established (the creation of conditions by the machine unit in accordance with the needs of the plants). In real production conditions, the influence of such indicators as working speed, uniformity of tillage depth, working furrow length, and soil hardness has been established. Research was conducted in various farms of the Sumy region and on various units for 5 years. The research was carried out jointly with the Loziv Forging and Mechanical Plant, the companies Elvorti and ATS Ukraine (Horsch) on the territory of Ukraine.

Quality indicators during tillage with disc tools were investigated. The obtained empirical dependencies make it possible to increase the adequacy of the technique of obtaining technical and operational indicators.

**Key words:** agricultural requirements, agrotechnical requirements, quality indicator, yield.



**РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ  
ДОПОМІЖНИХ ОПОР ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ****Кушніров Павло Васильович**кандидат технічних наук, доцент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0001-5894-538X  
p.kushnirov@tmvi.sumdu.edu.ua**Євтухов Артем Віталійович**кандидат технічних наук, доцент  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0001-9428-403X  
evtuhov.a@tmvi.sumdu.edu.ua**Дегтярьов Іван Михайлович**кандидат технічних наук, старший викладач  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0001-8535-987X  
ivan\_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua**Денисенко Юлія Олександрівна**кандидат технічних наук, старший викладач  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-9816-2862  
y.denisenko@tmvi.sumdu.edu.ua**Басов Богдан Сергійович**аспірант  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0003-0954-6184  
b.basov@tmvi.sumdu.edu.ua

*В статті розглядаються проблеми підвищення жорсткості при установленні в пристроях нежорстких заготовок, що мають великі розміри за довжиною або шириною. Прикладами таких деталей є різні корпуси, плити, рами, столи паперорізальних машин, тонкостінні деталі авіаційної техніки тощо. Верстатні пристрої для встановлення заготовок містять основні опори. Для збільшення жорсткості технологічної системи у верстатних пристроях застосовують додаткові допоміжні опори. Використовуються два види допоміжних опор – самоустановлювані та підвідні. Ці допоміжні опори містять клин, що має кут скосу до 8 градусів для забезпечення ефекту самогальмування.*

*Аналіз існуючих типів допоміжних опор дозволив виявити недоліки їх конструктивного виконання та напрями удосконалення. Показано, що підвідні опори, на відміну від самоустановлюваних, є більш жорсткими і тому більш рекомендованими. Допоміжні підвідні опори підводяться до заготовки вручну. Для того, щоб не перевищувати силу натиску на клин підвідної опори, застосовують пружину стиску, розташовану в глухому отворі клина між дном цього отвору та опорним стрижнем.*

*Для встановлення заготовок, що мають опорні поверхні криволінійної форми, рекомендовано використання допоміжних підвідних опор поворотного типу. Такі опори дозволяють не тільки змінювати кут нахилу опорного штиря в межах 0–90 градусів, але ще й здійснювати поворот опори навколо своєї осі на кут 360 градусів. Запропонований варіант поворотної допоміжної підвідної опори дозволяє також здійснювати нахил на різні кути. Це стає можливим завдяки виконанню сферичною основи опори. Використання сферичної основи в конструкції опори дозволяє спростити саму опору, зменшити габаритні розміри опори та її масу при збереженні можливості змінювати кут нахилу опорного штиря в просторі в різних напрямках.*

*Проведено зіставлення можливостей опорного штиря розглянутих допоміжних опор здійснювати лінійне переміщення або обертання в різних напрямках в тривимірній системі координат. Визначено, що найбільшу кількість можливостей руху опорного штиря мають підвідні поворотні допоміжні опори, максимум можливостей – запропонована поворотна допоміжна підвідна опора зі сферичною основою. Це свідчить про наявність в цій опорі найбільших технологічних можливостей, що дає змогу використовувати її для установлення широкої номенклатури заготовок з криволінійними, похилими та важкодоступними опорними поверхнями.*

**Ключові слова:** верстатний пристрій, нежорстка заготовка, допоміжна опора, самоустановлювана опора, підвідна опора, опорний штир, кут нахилу, сферична основа.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.7>

**Вступ.** Велике значення у розвитку машинобудівного комплексу країни відіграє вдосконалення технології оброблення заготовок, що мають великі розміри за довжиною або шириною і недостатню жорсткість. Прикладами таких великогабаритних заготовок є різні корпусні деталі, плити, рами, столи паперорізальних машин, тонкостінні деталі авіаційної техніки, елементи суден, станини верстатів тощо (Chai et al., 2021; Liu et al., 2021). Встановлення таких заготовок при механічному обробленні – це досить складне завдання, оскільки вони є нетехнологічними та маложорсткими. Верстатні пристрої для встановлення подібних заготовок, насамперед, містять так звані основні опори, що призначені для базування. З метою збільшення жорсткості технологічної системи в тих місцях, де можлива поява прогинів заготовок від дії сил різання або виникнення вібрацій в процесі оброблення, у верстатних пристроях застосовують додаткові допоміжні опори (Hao & Yang, 2020; Zhang & Li, 2020). При цьому використовують різні види допоміжних опор – як самоустановлювані, так і підвідні (Okpala & Ezeanyim, 2015). Оскільки технологічна система зі зниженою жорсткістю накладає обмеження з глибин різання та подач ріжучого інструменту, то актуальним є використання нової високоефективної технологічної оснастки, що дозволяє жорстко встановлювати заготовки і дає можливість здійснювати високопродуктивне механічне оброблення (Pandit, 2022). Від цього залежить подальше зростання технічного прогресу у низці базових галузей машинобудування – у верстатобудуванні, насособудуванні, важкому машинобудуванні, поліграфічній промисловості (Basov & Kushnirov, 2022; Basov et al., 2021).

Типові конструкції самоустановлюваних та підвідних допоміжних опор розглянуто в нормативній, довідковій і науковій літературі. На рис. 1 показана типова конструкція самоустановлюваної опори (Kushnirov et al., 2020). При установленні заготовки в пристрої опорний штир 2 опускається, стискаючи пружину 9. Штир 2 фіксується гвинтом 5 за допомогою пальця 3. До конструкції опори також входять: корпус 1, ковпачок 4, рукоятка 6, штифти 7 та 8.

Зазвичай допоміжна самоустановлювана опора містить вертикально розташований штир (плунжер), що має кут скосу в межах 6–8 градусів для забезпечення ефекту самогальмування (рис. 2). До цієї похилої поверхні здійснюється притиск штиря стопорним гвинтом. Сам же штир під дією пружини піднімається вгору до зіткнення з поверхнею заготовки, що попередньо встановлена на основні опори (Tertyshnyk & Kushnirov, 2018).

На рис. 3 показано варіант виконання допоміжної самоустановлюваної опори, що використовується як технологічна оснастка при механічному обробленні заготовок столів паперорізальних машин.

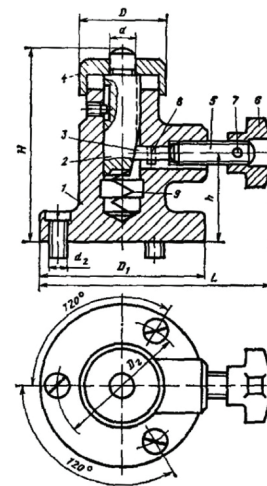


Рис. 1. Типова допоміжна самоустановлювана опора

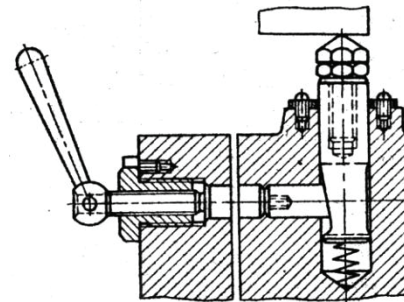


Рис. 2. Допоміжна самоустановлювана опора

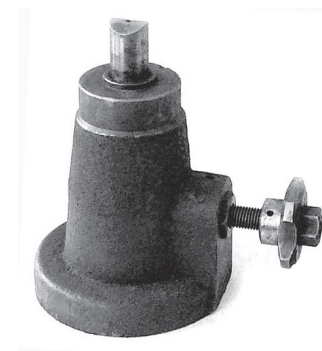


Рис. 3. Допоміжна самоустановлювана опора для верстатних пристроїв при обробленні заготовок столів паперорізальних машин

Одним з недоліків самоустановлюваних опор є їх недостатня жорсткість: при впливі на заготовку великих сил різання (наприклад, при обробленні струганням або чорновим фрезеруванням) механізм затиску штиря може дати просідання із заклинюванням, що призводить до невиконання опорою її безпосередньої функції. Методика оцінювання жорсткості верстатних пристроїв

розглянута в дослідженні (Ivanov et al., 2018), а прогнозування частотних характеристик маложорсткої системи «заготовка-пристрій» наведена в (Jia et al., 2021). В (Ivanov et al., 2022) рекомендована методика прийняття рішень щодо раціонального вибору установлюваної схеми в пристроях для деталей складної форми. Керування силою затиску в пристроях з плаваючими опорами також сприяє зменшенню деформацій протяжних заготовок (Zhu et al., 2022).

Збільшення жорсткості технологічної системи можна досягти, використовуючи підвідні допоміжні опори. У цих опор вертикальний штир має більш вигідні умови обпирання на переміщуваний вручну клин з кутом скосу до 8 градусів, оскільки вертикальна складова сил різання при обробленні заготовки тут сприймається всією опорною поверхнею клина. Допоміжні підвідні опори, на відміну від самоустановлюваних, підводяться до заготовки вручну. На рис. 4 показана підвідна клинова опора, в якій опорний штир здійснює контакт із заготовкою (після її установлення на основних опорах) шляхом переміщення клина. Після цього опорний штир фіксується обертанням рукоятки з гвинтом, при цьому кульки розсовують затискні кулачки (Borovyk, 2008; Kushnirov et al., 2020).

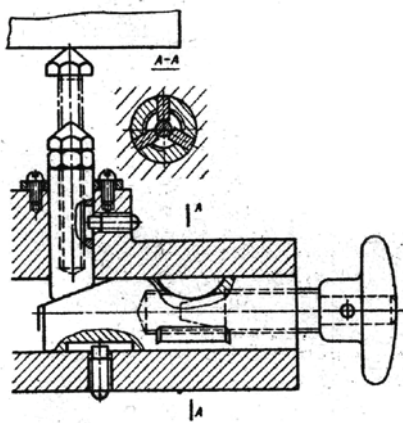


Рис. 4. Допоміжна підвідна опора

Однак даний вид допоміжних опор має і свої недоліки. Головний з них: клин переміщують вручну, і при такому переміщенні клина здійснюється не завжди контрольоване підняття опорного штиря до торкання з поверхнею заготовки. Існує небезпека того, що при дії надмірного ручного зусилля на клин заготовка може піднятися над основними опорами, і тому порушиться як точність базування, так і сама жорсткість технологічної системи. Цього недоліку позбавлена конструкція допоміжної підвідної опори, в якій зусилля на переміщення клина передається через таровану пружину стиснення (Kushnirov et al., 2020). Після встановлення заготовки на основні опори, клин переміщують, натискаючи на кнопку. При цьому опорний штир піднімається вгору і торкається заготовки. Коли зусилля переміщення опорного штиря досягає розрахункового значення, горизонтальне зусилля на клині зрівнюється із зусиллям пружини стиснення. При цьому кнопка зрушується відносно центрального стрижня, і вказане зміщення кнопки на величину

1–3 мм цілком відчутно працівником для припинення натиску на кнопку: головка центрального стрижня починає тиснути на долоню робочого-верстатника, сигналізуючи про необхідність припинення переміщення. У такому положенні клин фіксується. Конструкція підвідної опори дозволяє дозовано переміщувати клин без побоювання перевищення сили, яка могла б призвести до підняття заготовки над основними опорами (рис. 5).

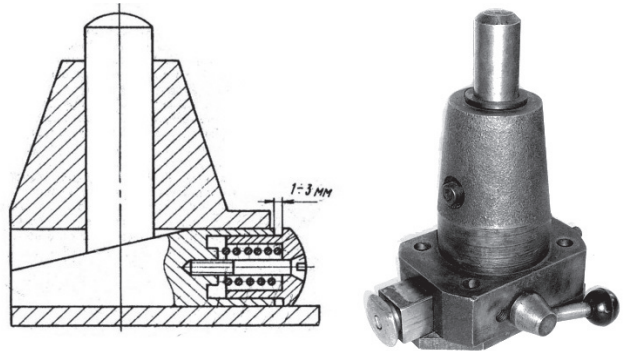


Рис. 5. Допоміжна підвідна опора

Але зазначена конструкція допоміжної підвідної опори має певний недолік: головка центрального стрижня, яка натискає на долоню робочого-верстатника, може викликати деякі неприємні больові відчуття. Щоб пом'якшити цей вплив і для покращення ергономічних властивостей допоміжну опору обладнують пружиною стиску, розташованою в глухому отворі клина між дном цього отвору та опорним стрижнем (Kosenko et al., 2012; Basov et al., 2022), рис. 6.

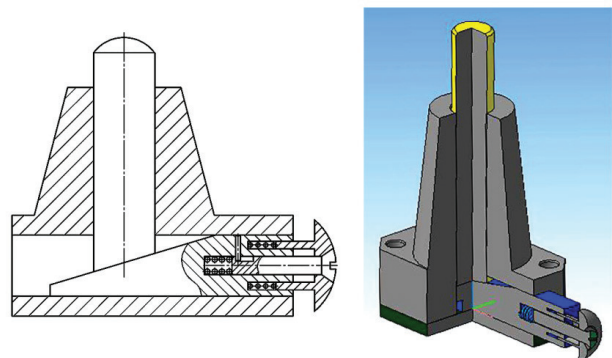


Рис. 6. Допоміжна підвідна опора

Наявність пружини між клином та стрижнем дозволяє значно зменшити силу тиску стрижня на руку, зробити більш м'яким контакт фіксуючої головки стрижня з рукою робітника і у такий спосіб знизити болючу дію на людину. При цьому жорсткість пружини між клином і стрижнем повинна бути більше жорсткості пружини стиску між клином і кнопкою, оскільки в іншому випадку робітник не зможе відчутти вплив фіксуючої головки стрижня на руку. Використані методи проектування опори на основі 3D-моделювання аналогічні наведеним у роботі (Li, 2020).

Розглянуті допоміжні опори мають загальний недолік: їх опорний штир може здійснювати тільки верти-



кальні переміщення (вгору – вниз), при цьому контактна поверхня заготовки має бути горизонтальною. Форма ж заготовок може бути досить різноманітною. Можливі випадки, коли поверхні, до яких необхідно підводити опори, можуть мати різне просторове розташування (наприклад, похилі або криволінійні). Відомі ж допоміжні опори не матимуть можливості бути підведеними до таких поверхонь. Це знижує технологічні можливості допоміжних опор, тому що зменшується кількість різновидів та конструкцій заготовок, що могли б бути встановленими на цих опорах. Таким чином, метою роботи є розширення технологічних можливостей допоміжних опор шляхом надання опорам властивості при настроюванні змінювати кут нахилу опорного штиря по відношенню до заготовки.

#### Матеріали і методи досліджень.

Для здійснення дослідження плануємо використання таких методів:

- проведення аналізу конструкцій допоміжних опор, узагальнення та систематизація отриманої в результаті аналізу інформації;
- синтез конструкцій технологічного оснащення на основі проведеного теоретичного аналізу;
- комп'ютерне моделювання;
- аналіз результатів, що отримані при дослідженнях.

Для удосконалення конструкції допоміжної підвідної опори з метою розширення її технологічних можливостей необхідно виконати допоміжну опору поворотною. Тобто, для встановлення заготовок, що мають криволінійні, похилі та важкодоступні опорні поверхні, найбільш ефективними можуть бути допоміжні підвідні опори такого поворотного типу. Саме для таких випадків призначена поворотна підвідна опора (Lukianenko et al., 2012), що дозволяє змінювати кут нахилу по відношенню до заготовки (рис. 7).

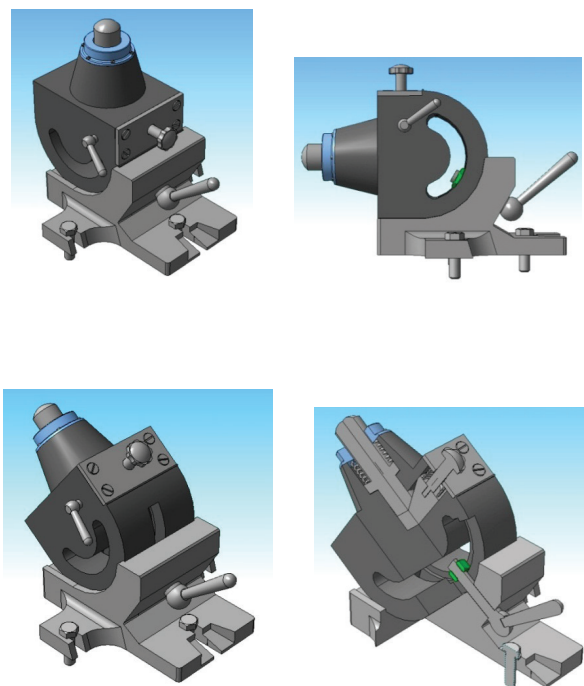


Рис. 7. Поворотна допоміжна підвідна опора

Поворотна допоміжна підвідна опора діє таким чином. Після встановлення заготовки на основні опори виставляють необхідний кут нахилу осі опорного штиря шляхом обертання поворотної частини корпусу відносно нерухомої частини корпусу. Необхідне положення куту нахилу фіксують за допомогою нарізного затискного механізму. Після цього, натискаючи на стрижень з голівкою, переміщують клин. При цьому опорний штир піднімається відносно клина і торкається заготовки. Це положення клина фіксують за допомогою бокового нарізного затискного механізму. Завдяки здатності опорного штиря нахилитися в діапазоні 90 градусів, на дану опору можна встановлювати більш широке коло різноманітних за формою заготовок, з похилими та важкодоступними поверхнями включно.

Інший варіант поворотної допоміжної підвідної опори згідно (Maltsev et al., 2015) дозволяє не тільки змінювати кут нахилу опорного штиря в межах 0–90 градусів, але ще й здійснювати поворот опори навколо своєї осі на кут 360 градусів (рис. 8).

На відміну від попередньої поворотної допоміжної підвідної ця опора містить поворотну базову частину корпусу (поворотний стіл), яка має можливість кругового обертання відносно вертикальної осі. Фіксацію необхідного положення цієї поворотної частини здійснюють за допомогою затискної рукоятки з конічною ділянкою та нарізним механізмом. Допоміжна опора дозволяє змінювати кут нахилу опорного штиря по відношенню до заготовки в різних напрямках, в горизонтальній площині включно. Це значно підвищує технологічні можливості опори, тому що з'являється можливість встановлювати на цій опорі більш широке коло різних за конструкцією заготовок з опорними поверхнями різної форми та конфігурації.

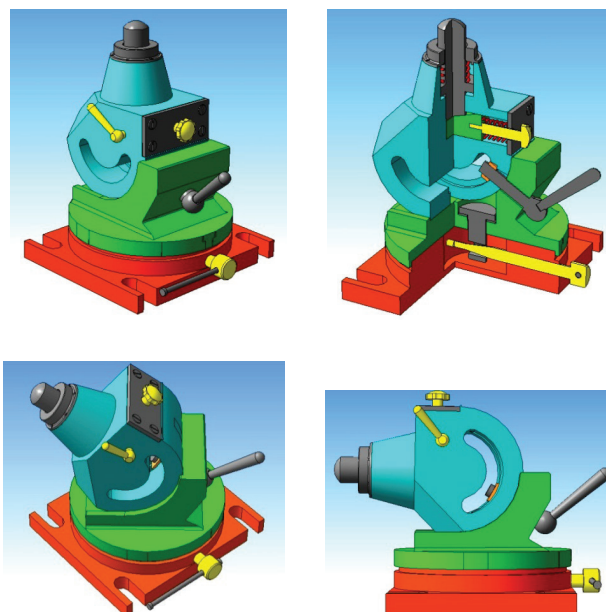


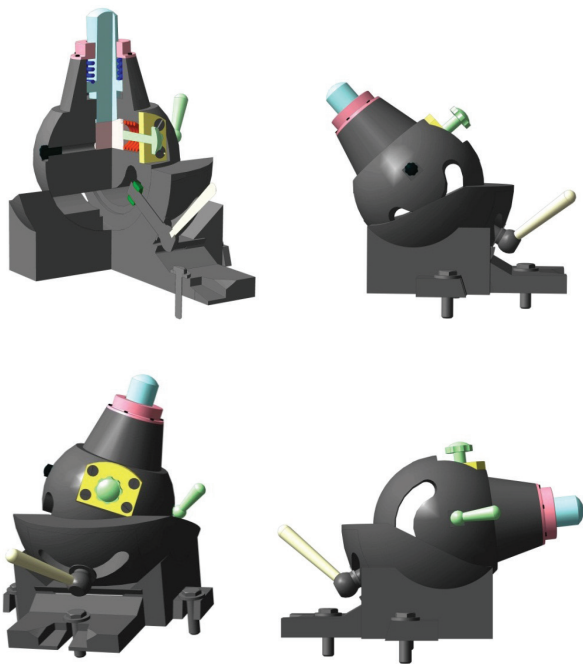
Рис. 8. Поворотна допоміжна підвідна опора

**Результати досліджень.** Проведемо порівняльний аналіз розглянутих поворотних опор. Так, остання



поворотна допоміжна підвідна опора (рис. 8) має переваги у порівнянні з технічним рішенням згідно з рис. 7, оскільки опорний штир має можливість не тільки змінювати кут нахилу, але ще й повертатися навколо власної осі. Однак недоліком цієї конструкції є достатня складність і, як наслідок, збільшення габаритних розмірів опори та її маси. Тому потрібно вирішити завдання вдосконалення поворотної допоміжної підвідної опори з метою спрощення її конструкції при збереженні можливості змінювати кут нахилу опорного штиря в просторі по відношенню до заготовки в різних напрямках.

Запропонований варіант поворотної допоміжної підвідної опори (рис. 9) дозволяє не тільки змінювати кут нахилу опорного штиря в межах 0–90 градусів, але і здійснювати поворот опори на різні кути. Конструкція цієї опори на відміну від конструкції (Maltsev et al., 2015) відрізняється тим, що контактуючі ділянки поворотної частини опори та нерухомої частини-основи виконані сферичними. Це дозволяє спростити конструкцію опори, оскільки відпадає необхідність використання додаткової базової частини з механізмом повороту та механізмом фіксації даного повороту. Як наслідок, зменшені габаритні розміри опори та її маса. При цьому зберігається можливість змінювати кут нахилу опорного штиря в просторі по відношенню до заготовки в різних напрямках.

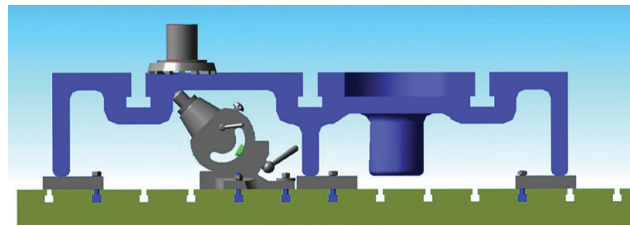


**Рис. 9.** Запропонована поворотна допоміжна підвідна опора

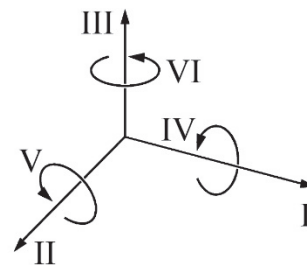
На рис. 10 наведено приклад технологічної системи, де використана запропонована поворотна допоміжна підвідна опора на фрезерній операції оброблення деталі «Плита».

**Обговорення.** Зробимо зіставлення можливостей опорного штиря розглянутих допоміжних опор здійснювати лінійне переміщення або обертання в різних напрямках в просторі. Тривимірна система координат

з трьома можливими лінійними переміщеннями (I, II, III) та трьома обертаннями (IV, V, VI) зображена на рис. 11.



**Рис. 10.** Приклад використання запропонованої поворотної допоміжної підвідної опори при фрезеруванні маложорсткої деталі «Плита»



**Рис. 11.** Тривимірна система координат

В табл. 1 наведено зіставлення можливостей руху опорного штиря допоміжних опор, що представлені на рисунках 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 та 9.

Як видно з табл. 1, найбільшу кількість можливостей руху опорного штиря мають підвідні поворотні допоміжні опори, максимум – запропонована поворотна допоміжна підвідна опора (рис. 9). Це свідчить про наявність в цій опорі найбільших технологічних можливостей, що дає змогу використовувати її для установлення широкої номенклатури заготовок з різними за формою опорними поверхнями.

**Висновки.** 1. Нежорсткі великогабаритні заготовки при механічному обробленні необхідно встановлювати в пристроях, що містять допоміжні опори. Це дозволяє збільшити жорсткість технологічної системи в тих місцях, де можлива поява прогинів заготовок від дії сил різання.

2. Аналіз існуючих типів допоміжних опор дозволив виявити недоліки їх конструктивного виконання та напрями удосконалення. Показано, що підвідні опори, на відміну від самоустановлюваних, є більш жорсткими і тому більш рекомендованими.

3. Технологічні можливості допоміжних підвідних опор можуть бути розширені шляхом надання опорам властивості при настроюванні змінювати кут нахилу опорного штиря по відношенню до заготовки, тобто допоміжні опори мають бути поворотними.

4. Використання запропонованої поворотної допоміжної підвідної опори зі сферичною основою дозволяє спростити конструкцію опори, зменшити габаритні розміри опори та її масу при збереженні можливості змінювати кут нахилу опорного штиря в просторі в різних напрямках.

## Зіставлення можливостей руху опорного штиря допоміжних опор

Тип допоміжної опори		Можливість руху опорного штиря					
		I	II	III	IV	V	VI
Самоустановлювана	Рис. 1	+	+	+			+
	Рис. 2	+	+	+			+
	Рис. 3	+	+	+			+
Підвідна	Рис. 4	+	+	+			+
	Рис. 5	+	+	+			+
	Рис. 6	+	+	+			+
Підвідна поворотна	Рис. 7	+	+	+		+	+
	Рис. 8	+	+	+		+	+
	Рис. 9	+	+	+	+	+	+

⊕\* – разом із корпусом незакріпленої опори на столі верстата

5. Отримані переваги допоміжної опори зі сферичною основою над традиційними конструкціями дозволяють розширити технологічні

можливості опори при встановленні заготовок з криволінійними, похилими та важкодоступними опорними поверхнями.

**Бібліографічні посилання:**

1. Basov, B. S., & Kushnirov, P. V. (2022). Pidvyshchennia zhorstkosti tekhnolohichnoi osnastky dlia obroblennia ploshchyn zahotovok [Increasing the rigidity of the technological equipment for processing the planes of the workpieces]. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system (KZlATPS – 2022)*. Natsionalnyi universytet «Chernihivska politehnika», 66 (in Ukrainian).

2. Basov, B., Dynnyk, O., Stupin, B., & Kushnirov, P. (2022). Improvement of Ergonomic Properties of Auxiliary Supports of Fixtures. Modern systems of science and education in the USA, EU and other countries '2022: SWorld&ProConference in conjunction with KindleDP, (9), 11–14. <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2022-09-01-023>.

3. Basov, B., Moshna, A., & Kushnirov, P. (2021). Perevahy ta nedoliky samoustanovliuvanykh i pidvidnykh opor [Advantages and disadvantages of self-aligning and driven supports]. *Tekhnolohii XXI storichchia. Sumskyi natsionalnyi ahrarnyi universytet*, 176–177 (in Ukrainian).

4. Borovyk, A. I. (2008). Tekhnolohichna osnastka mekhanoskladalnoho vyrobnytstva [Technological equipment of mechanical assembly production]. *Kondor* (in Ukrainian).

5. Chai, S., Ouyang, L., Bi, Q., Yu, J., & Zhang, Y. (2021). An adaptive fixture for suppress vibrations and measuring workpiece deformation of thin-walled casings. *Procedia CIRP*, 101, 322–325. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.269>

6. Hao, Q., & Yang, Q. (2020). A self-adaptive auxiliary fixture for deformation control in blade machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111(5-6), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06171-3>

7. Ivanov V., Dehtiarov I., Denysenko Y., Malovana N., & Martynova N. (2018). Experimental diagnostic research of fixture. *Diagnostyka*, 19(3), 3–9. <https://doi.org/10.29354/diag/92293>

8. Ivanov, V., Botko, F., Kolos, V., Pavlenko, I., Hatala, M., Antosz, K., & Trojanowska, J. (2022). Locating Chart Choice Based on the Decision-Making Approach. *Materials*, 15: 3557. <https://doi.org/10.3390/ma15103557>

9. Jia, J., Sun, Y., & Niu, J. (2021). Prediction of Frequency Response Function for Cylindrical Thin-Walled Workpiece with Fixture Support Constraints. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, article ID 9946310, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2021/9946310>

10. Kosenko, O. A., Kushnirov, P. V., & Ivanov, V. O. (2010). Dopomizhna pidvidna opora [Auxiliary underpinning support] (Patent Ukrainy № 50482 U) (in Ukrainian).

11. Kushnirov, P., Evtuhov, A., & Dehtiarov, I. (2020). Tekhnolohichna osnastka [Technological equipment]. *SumDU* (in Ukrainian).

12. Li, Y. (2020). Research on Fixture Design of NC Machine Tool Based on UG 3D Modeling. *Machine Learning and Artificial Intelligence*, IOS Press, 272-277. <https://doi.org/10.3233/FAIA200792>

13. Liu, Q., Xu, J., & Yu, H. (2021). Experimental study on the reduction of process-induced deformation when milling a low stiffness structure made of Ti6Al4V titanium alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116, 1975–1987. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07586-2>

14. Lukianenko, V. V., Kushnirov, P. V., & Nikolaiev, Ya. Yu. (2012). Povrotna dopomizhna pidvidna opora [Rotary auxiliary underpinning support] (Patent Ukrainy № 73454 U) (in Ukrainian).

15. Maltsev, O. S., Kushnirov, P. V., & Savchuk, V. I. (2015). Povоротna dopomizhna pidvidna opora [Rotary auxiliary underpinning support] (Patent Ukrainy № 97627 U) (in Ukrainian).
16. Okpala, C. C., & Ezeanyim, O. C. (2015). The Design and Need for Jigs and Fixtures in Manufacturing. *Science Research*, 3(4), 213–219. <https://doi.org/10.11648/j.sr.20150304.19>
17. Pandit, H. C. (2022). Jigs and Fixtures in Manufacturing. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 12(10), 50–55. <https://doi.org/10.9790/9622-12105055>
18. Tertyshnyk, O. I., & Kushnirov, P. V. (2018). Dopomizhni opory verstatnykh prystroiv dlia vstanovlennia nezhorstkykh zahotovok [Auxiliary supports of machine tools fixtures for installation of non-rigid workpieces]. *Suchasni tekhnologii u promyslovomu vyrobnytstvi*. SumDU, 37 (in Ukrainian).
19. Zhang, H., & Li, Y. (2020). Optimal Design of Carrying Auxiliary Fixtures in an Automobile Production Line Based on Static Analysis Method. *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture*, 422–427. <https://doi.org/10.1145/3421766.3421779>
20. Zhu, B., Mu, Z., He, L., Zhao, G., & Yang, Y. (2022). Research on Clamping Action Control Technology for Floating Fixtures. *Materials*, 15(16): 5571. <https://doi.org/10.3390/ma15165571>

**Kushnirov P. V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

**Evtuhov A. V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

**Dehtiarov I. M.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Sumy State University, Sumy, Ukraine

**Denysenko Yu. O.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Sumy State University, Sumy, Ukraine

**Basov B. S.**, Postgraduate, Sumy State University, Sumy, Ukraine

#### **Expansion of technological capabilities of auxiliary supports of machine tools devices**

*The article considers the problems of increasing rigidity when installing non-rigid workpieces with large dimensions in terms of length or width in devices. Examples of such parts are various cases, plates, frames, tables of paper-cutting machines, thin-walled parts of aviation equipment, etc. Machine tools devices for setting workpieces contain main supports. To increase the rigidity of the technological system in machine tools devices, additional auxiliary supports are used. Two types of auxiliary supports are used – self-installing and underpinning. These auxiliary supports contain a wedge with a bevel angle of up to 8 degrees to provide a self-braking effect.*

*The analysis of the existing types of auxiliary supports made it possible to identify the shortcomings of their constructive implementation and directions for improvement. It is shown that underpinning supports, in contrast to self-installing ones, are more rigid and therefore more recommended. Auxiliary underpinning supports are brought to the workpiece manually. In order not to exceed the force of pressure on the wedge of the underpinning support, a compression spring is used, located in the blind hole of the wedge between the bottom of this hole and the support rod.*

*For the installation of workpieces with curved support surfaces, it is recommended to use auxiliary underpinning supports of the rotary type. Such supports allow not only to change the angle of inclination of the support pin within 0–90 degrees, but also to rotate the support around its axis by an angle of 360 degrees. The proposed variant of the rotary auxiliary underpinning support also allows tilting to different angles. This becomes possible thanks to the spherical base of the support. The use of a spherical base in the structure of the support allows to simplify the support itself, to reduce the overall dimensions of the support and its weight while maintaining the ability to change the angle of inclination of the support pin in space in different directions.*

*A comparison of the capabilities of the support pin of the considered auxiliary supports to perform linear movement or rotation in different directions in the three-dimensional coordinate system was carried out. It was determined that the greatest number of possibilities for the movement of the support pin are provided by underpinning rotary auxiliary supports, the maximum possibilities are the proposed rotary auxiliary underpinning support with a spherical base. This indicates the presence of the greatest technological capabilities in this support, which makes it possible to use it to installation a wide range of workpieces with curved, inclined and hard-to-reach support surfaces.*

**Key words:** machine tool device, non-rigid workpiece, auxiliary support, self-installing support, underpinning support, support pin, angle of inclination, spherical base.

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РУХУ МАНІПУЛЯТОРА З ДВОМА ПОСТУПАЛЬНИМИ ТА ОДНІЄЮ ОБЕРТАЛЬНОЮ ЛАНКАМИ У ПЛОЩИНІ ЗМІНИ ВІЛЬОТУ

**Ловейкін Вячеслав Сергійович**

доктор технічних наук, професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0003-4259-3900

email: lovvs@ukr.net

**Ромасевич Юрій Олександрович**

доктор технічних наук, професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0001-5069-5929

email: romasevichyuriy@ukr.net

**Кадикало Іван Олександрович**

кандидат технічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-5686-5869

email: kadykaloivan@nubip.edu.ua

**Каленіченко Богдан Володимирович**

студент IV курсу факультету конструювання та дизайну

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0009-0003-5547-4449

bohdan.kalinihenko@gmail.com

*В наведеній науковій праці представлено процес оптимізації режимів руху робота-маніпулятора з двома поступальними та однією обертальними ланками в площині зміни вільоту захватного пристрою з вантажем. Цей процес включає вибір траєкторії руху захватного пристрою між двома точками переміщення вантажу, при якій забезпечується мінімальна відстань переміщення захвату. Здійснюється оптимізація режиму руху захватного пристрою з вантажем вздовж обраної траєкторії за певним критерієм. Проведено оптимізацію режиму руху захвату за двома інтегральними динамічними критеріями, які відображають середні значення кінетичної енергії та динамічної складової потужності на ділянці руху. Відповідно до першого критерію оптимальним є режим руху захватного пристрою з постійною швидкістю на всій ділянці руху, а за другим критерієм оптимальна швидкість має змінюватись за параболічним законом. В оптимальному енергетичному режимі руху захватного пристрою з вантажем відсутні ділянки пуску та зупинки, тому він може бути використаний лише на ділянці усталеного руху захвату. Оптимальний режим руху захватного пристрою за критерієм динамічної складової потужності забезпечує мінімальне значення потужності приводних механізмів, однак при використанні такого режиму на всій ділянці руху приводить до збільшення енергетичних витрат. Такий режим руху захватного пристрою рекомендовано використовувати на ділянках пуску та зупинки, а також при переміщенні захвату на незначні відстані. Також визначений комплексний оптимальний режим руху захватного пристрою, де на ділянках пуску та гальмування швидкість змінюється за параболічним законом, що відповідає оптимальному динамічному режиму руху, а на ділянці усталеного руху є постійною і забезпечує оптимальний енергетичний режим руху. Встановлені зв'язки між характеристиками оптимальних режимів руху захватного пристрою з вантажем за обраною траєкторією та осями координат в площині зміни вільоту.*

**Ключові слова:** маніпулятор, захватний пристрій, траєкторія руху, критерій оптимізації, оптимальні режими руху, узагальнені координати.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.8>

**Постановка проблеми.** В процесі переміщення вантажів маніпулятором з одного положення в інше виникає задача вибору траєкторії переміщення вантажу, режиму його руху вздовж обраної траєкторії та параметрів і характеристик приводних механізмів, які реалізують необхідні режими руху. В процесі вибору режимів руху виникає проблема вибору критерію оптимізації і знаходження його екстремального зна-

чення, яке дозволяє вибрати оптимальний режим руху захватного пристрою маніпулятора. Для реалізації оптимального режиму руху захватного пристрою необхідно вибрати приводні механізми та системи їхнього керування. При цьому необхідно розв'язати зворотну задачу, яка полягає в тому, щоб за характеристиками оптимального режиму руху захватного пристрою визначити характеристики узагальнених координат маніпу-



лятора, які дають можливість встановити параметри та характеристики приводних механізмів і систем їхнього керування.

**Аналіз останніх публікацій.** Роботи і маніпулятори широко використовуються в різних галузях виробництва при переміщенні вантажів, де значна увага приділяється плануванню та вибору траєкторії переміщення, а також її адаптивного відслідковування в процесі руху (Faustini A. et al., 2015). Важливого значення набувають питання планування траєкторії і керування рухом роботів-маніпуляторів для відслідковування траєкторій. Так, наприклад, в роботі (Kim M. K. et al., 2018) розглянуті питання планування траєкторії руху мобільними колісними роботами та керування ними для реалізації траєкторії на відкритому повітрі. Планування траєкторії руху підводних апаратів з використанням гібридної теорії оптимізації розглянуто в роботі (Zhang X. & Hu W., 2019), де за критерії оптимізації використовувались енергетичні витрати та час руху. В роботі (Kim S. et al., 2017) розглянуті питання оптимального планування траєкторії і керування рухом безпілотної літальної апарату з використанням мікроконтролера та прогнозуванням нелінійної моделі руху. Також важливе значення надається плануванню траєкторій при русі електромобілів. Так, наприклад, в роботі (Li H. et al., 2017) розглянуті питання планування траєкторій та управлінням відслідковуванням цих траєкторій електромобілем з чотирма колесами і диференціальним механізмом. В роботі (Bansal J. C. et al., 2017) наведено огляд генетичних алгоритмів оптимізації та їхнє застосування в робототехніці. Значна увага огляду методів оптимізації траєкторій руху роботів та маніпуляторів приділена в роботі (Saha S. K. & Bhattacharyya B., 2018). Проведена багатоцільова оптимізація траєкторії руху робота на основі покращення генетичного алгоритму, що дозволило з різних точок зору розглядати вибір траєкторії руху (Wang Y. et al., 2017). В роботі (Zhang J. et al., 2018) проведено оптимальне планування траєкторії промислового робота на основі алгоритму імітації відпалювання. При оптимізації планування траєкторій значна увага приділяється методам штучного інтелекту. В роботі (Gao X. et al., 2019) здійснено оптимальне планування траєкторії робота-маніпулятора на основі удосконаленого алгоритму штучного бджолиного рою. З наведеного аналізу проведених досліджень можна зробити висновок, що питанням планування траєкторій руху роботів і маніпуляторів, а також їхнього відслідковування та керування рухом приділяється значна увага.

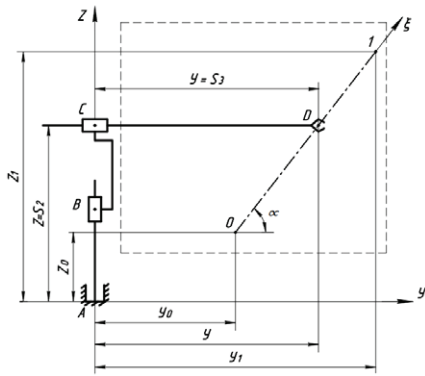
Важливого значення набувають методи оптимізації режимів руху роботів і маніпуляторів по оптимально запланованих траєкторіях. Ці методи оптимізації роботів та маніпуляторів можуть базуватись на використанні кінематичних (Loveikin V., et al., 2021) та динамічних (Loveikin V., Romasevych Y. et al., 2022) критеріїв. В статтях (Loveikin V. & Mishchuk D. A., 2019; Loveikin V., Mishchuk D. O. et al., 2022) здійснено оптимізацію режимів руху маніпуляторів за середньо-

квадратичними значеннями відповідно кінематичних та силових характеристик. Для визначення узагальнених координат маніпулятора та їх похідних за часом необхідно розв'язувати зворотні задачі кінематики. Проведемо аналіз публікацій цих задач. В роботі (Gharavian M. & Ahmadi M. T., 2012) наведений новий підхід до розв'язування зворотних задач кінематики маніпуляторів з надлишковими ступенями вільності з використанням алгоритму мурашиної колонії. Авторами роботи (Zeeshan A. I. et al., 2014) розв'язані зворотні задачі кінематики маніпуляторів з п'ятьма ступенями вільності з використанням нейронних мереж. В статті (Jahanbekam M. R. et al., 2016) здійснено співставлення градієнтних алгоритмів оптимізації зворотних задач кінематики маніпуляторів з надлишковими ступенями вільності і наведено напрямки їх використання. В роботі (Mousavi M. R. & Gholami M., 2018) наведено огляд розв'язування зворотних задач кінематики роботів-маніпуляторів з послідовним з'єднанням. Питанням розв'язування зворотних задач кінематики маніпуляторів з надлишковими ступенями вільності з використанням алгоритму гібридного навчання присвячена робота (Hameed Z. K. & Atiq M. T., 2021).

З наведеного аналізу наукових праць з планування траєкторій, оптимізації режимів руху та розв'язування зворотних задач кінематики руху показує, що на достатньому рівні вирішується кожна з задач, однак є потреба в комплексній оптимізації всього процесу вирішення поставлених задач.

**Мета досліджень** полягає в розробці комплексного алгоритму оптимізації режиму руху маніпулятора з двома поступальними та однією оберտальною ланкою.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення досліджень використаємо маніпулятор з трьома ступенями вільності, до складу якого входить дві поступальні і одна оберտальна ланки (рис.1). За узагальнені координати такого маніпулятора прийняті: кутова координата повороту стійки  $\varphi_1$  та лінійні координати вертикального підйому  $s_2$  і горизонтального переміщення захвату з вантажем  $s_3$ . Розглянемо рух маніпулятора у вертикальній площині. В цій площині здійснювати рух будуть ланки, що мають поступальний рух, тобто ланки 2 і 3, а ланка 1 залишається нерухомою разом зі стійкою, тому координата  $\varphi_1$  залишається незмінною.. На рис.1 пунктирною лінією показана область, в якій може переміщуватись захватний пристрій маніпулятора. Нехай треба перемістити захватний пристрій з вантажем з точки 0 з координатами  $(y_0, z_0)$  в точку 1 з координатами  $(y_1, z_1)$ . Оскільки найкоротшою відстанню між точками 0 і 1 буде відстань по прямій лінії, тому за траєкторію руху захватного пристрою захвату з вантажем оберемо пряму лінію з напрямком переміщення вздовж осі  $\xi$ . Поставлена задача перемістити захватний пристрій з вантажем з точки 0 в точку 1 за час  $t_1$ . В довільний момент часу  $t$  ( $0 \leq t \leq t_1$ ) положення захвату з вантажем характеризується координатою  $\xi$ .



**Рис.1. Схема руху маніпулятора у вертикальній площині**

Встановимо зв'язок координати  $\xi$  з нерухомою системою координат  $yiz$

$$\xi = \sqrt{(y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}. \quad (1)$$

Підставивши в формулу (1) координати точок 0 і 1, отримаємо:

$$\xi_0 = 0; \xi_1 = \sqrt{(y_0 - z_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}. \quad (2)$$

Визначимо оптимальний енергетичний режим руху захвату вздовж прямої  $\xi$  на ділянці від точки 0 до точки 1. За критерій оптимізації оберемо середнє значення кінематичної енергії захвату на ділянці руху  $0 \leq \xi \leq \xi_1$  за час  $0 \leq t \leq t_1$

$$T_{cp} = \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} T dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $t$  – час;  $t_1$  – тривалість руху захватного пристрою з вантажем;  $T$  – кінематична енергія захвату з вантажем, яка визначається наступною залежністю

$$T = \frac{1}{2} m \dot{\xi}^2, \quad (4)$$

де  $m$  – маса захватного пристрою з вантажем.

Умовою мінімуму критерію (5) є рівняння Ейлера, які мають вигляд

$$\frac{\partial T}{\partial \xi} - \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\xi}} = 0. \quad (5)$$

В результаті підстановки виразу (6) в рівняння (7) отримаємо:

$$\frac{\partial T}{\partial \xi} = 0; \frac{\partial T}{\partial \dot{\xi}} = m \dot{\xi}; \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\xi}} = m \ddot{\xi} = 0. \quad (6)$$

Рівняння (6) справедливе коли

$$\ddot{\xi} = 0. \quad (7)$$

Двічі проінтегруємо рівняння (7), в результаті чого отримаємо:

$$\dot{\xi} = C_1; \xi = C_1 t + C_2, \quad (8)$$

де  $C_1, C_2$  – постійні інтегрування, які визначаються з крайових умов руху:

$$t=0; \xi = 0; t=t_1; \xi = \xi_1. \quad (9)$$

Після підстановки умов (11) в залежності (10) будемо мати:

$$C_2 = 0; \xi_1 = C_1 t_1 \rightarrow C_1 = \frac{\xi_1}{t_1}. \quad (10)$$

Тоді закон руху захвату з вантажем буде мати вигляд:

$$\xi = \frac{\xi_1 t}{t_1}; \dot{\xi} = \frac{\xi_1}{t_1} = \text{const}; \ddot{\xi} = 0. \quad (11)$$

Отже, для забезпечення оптимального енергетичного режиму руху захват повинен рухатися на всій ділянці руху з постійною швидкістю.

Знайдемо для цього режиму руху захватного пристрою з вантажем кінематичні характеристики узагальнених координат, виражених через координату  $\xi$

$$S_2 - Z_0 = \xi * \sin \alpha.$$

Звідки знаходимо

$$S_2 = Z_0 + \xi * \sin \alpha = Z_0 + \xi_1 * \frac{t}{t_1} * \sin \alpha, \quad (14)$$

$$\text{де } \sin \alpha = \frac{Z_1 - Z_0}{\xi_1}; \quad \cos \alpha = \frac{y_1 - y_0}{\xi_1}. \quad (15)$$

Після підстановки першого виразу з (15) в залежності (14) отримаємо:

$$S_2 = Z_0 + \xi_1 * \frac{t}{t_1} * \frac{Z_1 - Z_0}{\xi_1} = Z_0 + (Z_1 - Z_0) \frac{t}{t_1}. \quad (16)$$

Взявши похідну за часом від виразу (16), отримаємо:

$$\dot{S}_2 = \frac{Z_1 - Z_0}{t_1} = \text{const}; \quad \ddot{S}_2 = 0.$$

Аналогічно знайдемо координату  $S_3$  захватного пристрою

$$S_3 - y_0 = \xi * \cos \alpha.$$

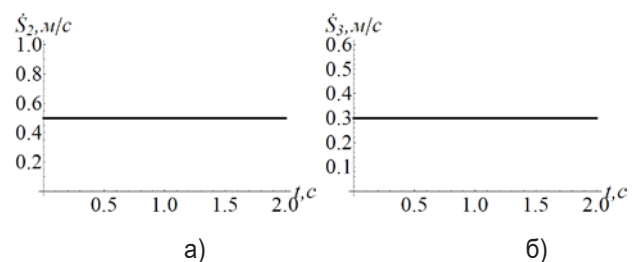
Тоді з отриманого рівняння знаходимо

$$S_3 = y_0 + \xi * \cos \alpha. \quad (17)$$

Після підстановки виразів (13) і (15) в залежності (17) будемо мати

$$S_3 = y_0 + \xi_1 \frac{t}{t_1} * \frac{y_1 - y_0}{\xi_1} = y_0 + (y_1 - y_0) \frac{t}{t_1}; \dot{S}_3 = \frac{y_1 - y_0}{t_1} = \text{const}. \quad (18)$$

З виразів (16) та (18) випливає, що для забезпечення оптимального енергетичного режиму руху захвату з вантажем необхідно, щоб приводні механізми підйому захвату та висування руки маніпулятора рухались з постійною швидкістю на всій ділянці руху (рис. 2).



**Рис. 2. Графіки швидкості оптимального енергетичного режиму руху при підйомі (а) та висуванні (б) захватного пристрою**

Оскільки оптимальний енергетичний режим не вдається реалізувати на практиці, бо в нього відсутні ділянки пуску та гальмування, тому він може бути використаний лише на ділянці усталеного руху приводних механізмів маніпулятора.

Тепер знайдемо оптимальний режим руху захвату, який мінімізує динамічну складову потужності руху захватного пристрою з вантажем. За критерій оптимізації використаємо середнє значення динамічної складової потужності, що витрачається на рух захвату з вантажем

$$P_{cp} = \int_0^{t_1} V dt \rightarrow \min, \quad (19)$$

де  $V$  - енергія пришвидшення, яка для захвату з вантажем визначається наступної залежністю

$$V = \frac{1}{2} m \dot{\xi}^2 \dots \quad (20)$$

Тут  $m$  — маса вантажу з захватом. Умовою мінімуму критерію (19) з урахуванням виразу (20) є рівняння Ейлера-Пуассона, яке має вигляд

$$\frac{\partial V}{\partial \xi} - \frac{d}{dt} \frac{\partial V}{\partial \dot{\xi}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial V}{\partial \ddot{\xi}} = 0. \quad (21)$$

Визначимо складові частини рівняння (21):

$$\frac{\partial V}{\partial \xi} = 0; \frac{\partial V}{\partial \dot{\xi}} = 0; \frac{\partial V}{\partial \ddot{\xi}} = m \xi; \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial V}{\partial \ddot{\xi}} = m \ddot{\xi}. \quad (22)$$

Підставимо вирази (22) в рівняння (21), в результаті чого будемо мати:

$$m \ddot{\xi} = 0.$$

Отримане рівняння справедливе, коли

$$\ddot{\xi} = 0. \quad (23)$$

Розв'яжемо диференціальне рівняння (23). Для цього візьмемо чотири рази інтеграли зліва і справа цього рівняння. В результаті чого отримаємо:

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} &= D_1; \\ \dot{\xi} &= D_1 t + D_2; \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \dot{\xi} &= \frac{1}{2} D_1 t^2 + D_2 t + D_3; \\ \xi &= \frac{1}{6} D_1 t^3 + \frac{1}{2} D_2 t^2 + D_3 t + D_4, \end{aligned}$$

де  $D_1, D_2, D_3, D_4$  – постійні інтегрування, які визначаються з крайових умов руху захватного пристрою:

$$t = 0 : \xi = 0, \dot{\xi} = 0; \quad t = t_1 : \xi = \xi_1, \dot{\xi} = 0. \quad (25)$$

Після підстановки умов (25) в залежності (24) отримуємо:

$$D_4 = 0; \quad D_3 = 0; \quad (26)$$

$$\begin{cases} \frac{1}{6} D_1 t_1^3 + \frac{1}{2} D_2 t_1^2 = \xi_1; \\ \frac{1}{2} D_1 t_1^2 + D_2 t_1 = 0. \end{cases} \quad (27)$$

З другого рівняння системи лінійних рівнянь (27) знаходимо

$$D_2 = -\frac{D_1 t_1}{2}. \quad (28)$$

Підставивши в перше рівняння системи (27) вираз (28), отримуємо

$$\frac{1}{6} D_1 t_1^3 + \frac{1}{4} D_1 t_1^3 = \xi_1.$$

З отриманого рівняння маємо

$$-\frac{1}{12} D_1 t_1^3 = \xi_1.$$

Тоді знаходимо

$$D_1 = -12 \xi_1 / t_1^3. \quad (29)$$

Після підстановки виразу (29) в залежність (28) отримуємо

$$D_2 = \frac{6 \xi_1}{t_1^2}. \quad (30)$$

Підставивши вирази (26), (29) і (30) в залежності (24), маємо оптимальний режим руху захвату з вантажем, який мінімізує динамічну складову потужності:

$$\begin{aligned} \xi &= 3 \xi_1 t^2 / t_1^2 - 2 \xi_1 t^3 / t_1^3 = \frac{\xi_1}{t_1^2} \left( 3t^2 - 2 \frac{t^3}{t_1} \right); \\ \dot{\xi} &= 6 \frac{\xi_1}{t_1^2} \left( t - \frac{t^2}{t_1} \right); \\ \ddot{\xi} &= 6 \frac{\xi_1}{t_1^2} \left( 1 - 2 \frac{t}{t_1} \right). \end{aligned} \quad (31)$$

Для забезпечення оптимального режиму, що мінімізує динамічну складову потужності, необхідно, щоб швидкість руху захвату з вантажем змінювалась за параболічним законом, а пришвидшення за лінійним законом.

Знайдемо для отриманого режиму руху кінематичні характеристики узагальнених координат, виражених через координату  $\xi$ :

координата  $S_2$  та її похідні за часом:

$$\begin{aligned} S_2 &= Z_0 + \xi \sin \alpha = Z_0 + \frac{\xi_1}{t_1^2} \left( 3t^2 - 2 \frac{t^3}{t_1} \right) * \frac{Z_1 - Z_0}{\xi_1} = \\ &= Z_0 + (Z_1 - Z_0) \frac{t^2}{t_1^2} \left( 3 - 2 \frac{t}{t_1} \right); \end{aligned} \quad (32)$$

$$\dot{S}_2 = 6 \frac{Z_1 - Z_0}{t_1^2} t \left( 1 - \frac{t}{t_1} \right); \quad \ddot{S}_2 = 6 \frac{Z_1 - Z_0}{t_1^2} \left( 1 - 2 \frac{t}{t_1} \right). \quad (33)$$

координата  $S_3$  та її похідні за часом:

$$\begin{aligned} S_3 &= y_0 + \xi \cos \alpha = y_0 + \frac{\xi_1}{t_1^2} \left( 3t^2 - 2 \frac{t^3}{t_1} \right) * \frac{y_1 - y_0}{\xi_1} = \\ &= y_0 + \frac{y_1 - y_0}{t_1^2} t^2 \left( 3 - 2 \frac{t}{t_1} \right); \end{aligned} \quad (34)$$

$$\dot{S}_3 = 6 \frac{y_1 - y_0}{t_1^2} t \left( 1 - \frac{t}{t_1} \right); \quad \ddot{S}_3 = \frac{y_1 - y_0}{t_1^2} \left( 1 - 2 \frac{t}{t_1} \right). \quad (35)$$

З виразів (33) та (35) випливає, що для забезпечення оптимального режиму руху, що мінімізує динамічну скла-

дову потужності, необхідно, щоб швидкості приводних механізмів підйому та висуванню захватного пристрою змінювались за параболічним законом, а пришвидшення – за лінійним.

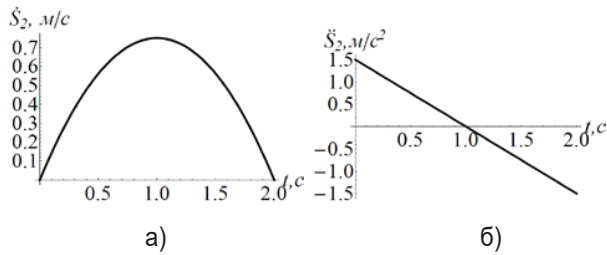


Рис. 3. Швидкість (а) та пришвидження (б) приводу механізму підйому

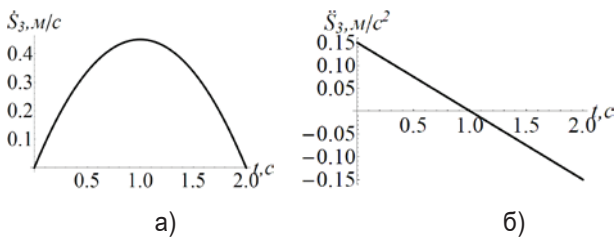


Рис. 4. Швидкість (а) та пришвидження (б) приводу механізму зміни вильоту

Такий режим руху доцільно застосовувати при переміщенні захвату на незначні відстані, коли відсутня ділянка усталеного руху і рух складається тільки з ділянок пуску та гальмування. Цей режим руху для узагальнених координат механізмів підйому та зміни вильоту показано на рис. 3 і 4.

Розглянемо режим руху захватного пристрою, який складається з ділянок пуску, усталеного руху та гальмування. На ділянці усталеного руху використовуємо оптимальний енергетичний режим руху, який забезпечується постійною швидкістю руху захватного пристрою. На ділянках пуску та гальмування застосуємо оптимальний режим руху, який мінімізує динамічну складову потужності приводних механізмів.

Для визначення оптимального режиму пуску захватного пристрою використовуємо залежності (24), в яких постійні інтегрування визначаються з наступних крайових умов:

$$t = 0: \xi = 0, \dot{\xi} = 0; t = t_p: \dot{\xi} = V, \ddot{\xi} = 0. \quad (36)$$

Після підстановки умов (36) в залежності (24) маємо:

$$D_4 = 0; D_3 = 0; \quad (37)$$

$$\begin{cases} \frac{1}{2} D_1 t_p^2 + D_2 t_p = V; \\ D_1 t_p + D_2 = 0. \end{cases} \quad (38)$$

Тут  $t_p$  — тривалість розгону захватного пристрою;  $V$  — швидкість усталеного руху захвату, яка при оптимальному енергетичному режимі руху визначається залежністю (13)

$$V = \xi_1 / t_1. \quad (39)$$

З другого рівняння системи (38) знаходимо

$$D_2 = -D_1 t_p. \quad (40)$$

Підставивши в перше рівняння системи (38) залежності (40), отримаємо

$$\frac{1}{2} D_1 t_p^2 - D_1 t_p^2 = V.$$

З отриманого рівняння знаходимо

$$-\frac{1}{2} D_1 t_p^2 = V.$$

Звідки

$$D_1 = -2V / t_p^2. \quad (41)$$

В результаті підстановки виразу (41) в залежності (40) будемо мати:

$$D_2 = 2V / t_p. \quad (42)$$

Підставивши вирази (37), (41) і (42) в залежності (24) будемо мати:

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{V}{t_p} t^2 - \frac{1}{3} \frac{V}{t_p^2} t^3 = \frac{V}{t_p} \left( t^2 - \frac{t^3}{3t_p} \right); \\ \dot{\xi} &= \frac{V}{t_p} \left( 2t - \frac{t^2}{t_p} \right) \end{aligned} \quad (43)$$

$$\ddot{\xi} = 2 \frac{V}{t_p} \left( 1 - \frac{t}{t_p} \right).$$

Знаючи кінематичні характеристики захватного пристрою (43), знайдемо відповідні характеристики узагальнених координат та їхніх похідних за часом:

- механізм підйому захвату:

$$\begin{aligned} S_2 &= Z_0 + \xi \sin \alpha = Z_0 + \frac{V t^2}{t_p} \left( 1 - \frac{t}{3t_p} \right) \frac{z_1 - z_0}{\xi_1} = \\ &= Z_0 + (z_1 - z_0) \frac{t^2}{t_p t_1} \left( 1 - \frac{t}{3t_p} \right); \\ \dot{S}_2 &= (z_1 - z_0) \frac{1}{t_p t_1} \left( 2t - \frac{t^2}{t_p} \right); \\ \ddot{S}_2 &= 2(z_1 - z_0) \frac{1}{t_p t_1} \left( 1 - \frac{t}{t_p} \right). \end{aligned} \quad (44)$$

- механізм зміни вильоту:

$$\begin{aligned} S_3 &= y_0 + \xi \cos \alpha = y_0 + \frac{V t^2}{t_p} \left( 1 - \frac{t}{3t_p} \right) \frac{y_1 - y_0}{\xi_1} = \\ &= y_0 + \frac{y_1 - y_0}{t_p t_1} t^2 \left( 1 - \frac{t}{3t_p} \right); \\ \dot{S}_3 &= \frac{y_1 - y_0}{t_p t_1} \left( 2t - \frac{t^2}{t_p} \right), \ddot{S}_3 = 2 \frac{y_1 - y_0}{t_p t_1} \left( 1 - \frac{t}{t_p} \right). \end{aligned} \quad (45)$$

Аналогічно визначимо оптимальні режими гальмування, що забезпечують мінімізацію динамічної складової потужності приводних механізмів підйому та зміни вильоту захвату.



Для визначення оптимального режиму гальмування захватного пристрою використаємо залежності (24), в яких постійні інтегрування визначаються з таких крайових умов руху:

$$t = t_1 - t_g : \dot{\xi} = V, \xi = 0; t = t_1 : \xi = \xi_1, \dot{\xi} = 0, \quad (46)$$

де  $t_g$  — тривалість гальмування захватного пристрою з вантажем.

В результаті підстановки умов (46) в залежності (24) отримуємо:

$$\begin{cases} \frac{1}{2}D_1(t_1 - t_g)^2 + D_2(t_1 - t_g) + D_3 = V; \\ D_1(t_1 - t_g) + D_2 = 0; \\ \frac{1}{6}D_1t_1^3 + \frac{1}{2}D_2t_1^2 + D_3t_1 + D_4 = \xi_1; \\ \frac{1}{2}D_1t_1^2 + D_2t_1 + D_3 = 0. \end{cases} \quad (47)$$

З другого рівняння системи (47) виразимо невідоме  $D_2$  через  $D_1$ , після чого отримуємо

$$D_2 = -D_1(t_1 - t_g). \quad (48)$$

В інших рівняннях системи (47) замінимо  $D_2$  на вираз (48), тобто

$$\begin{cases} \frac{1}{2}D_1(t_1 - t_g)^2 + D_1(t_1 - t_g)^2 + D_3 = V; \\ \frac{1}{6}D_1t_1^3 + \frac{1}{2}D_1(t_1 - t_g)t_1^2 + D_3t_1 + D_4 = \xi_1; \\ \frac{1}{2}D_1t_1^2 + D_2(t_1 - t_g)t_1 + D_3 = 0. \end{cases} \quad (49)$$

Зведемо подібні члени в системі рівнянь (49), в результаті чого отримуємо:

$$\begin{cases} -\frac{1}{2}D_1(t_1 - t_g)^2 + D_3 = V; \\ \frac{1}{6}D_1t_1^3 - \frac{1}{2}D_1t_1^3 + \frac{1}{2}D_1t_g t_1^2 + D_3t_1 + D_4 = \xi_1; \\ \frac{1}{2}D_1t_1^2 - D_1t_1^2 + D_1t_g t_1 + D_3 = 0. \end{cases}$$

Представимо цю систему в іншому вигляді:

$$\begin{cases} -\frac{1}{2}D_1(t_1 - t_g)^2 + D_3 = V; \\ D_1t_1^2(t_g / 2 - t_1 / 3) + D_3t_1 + D_4 = \xi_1; \\ D_1t_1(t_g - t_1 / 2) + D_3 = 0. \end{cases} \quad (50)$$

З останнього рівняння системи (50) виразимо невідому  $D_3$  через  $D_1$

$$D_3 = -D_1t_1(t_g - t_1 / 2). \quad (51)$$

Підставимо вираз (51) в інші два рівняння системи (50) в результаті чого будемо мати:

$$\begin{cases} -\frac{1}{2}D_1(t_1 - t_g)^2 - D_1t_1(t_g - t_1 / 2) = V; \\ D_1t_1^2(t_g / 2 - t_1 / 3) - D_1t_1^2(t_g - t_1 / 2) + D_4 = \xi_1. \end{cases}$$

В отриманій системі рівнянь зведемо подібні члени, в результаті чого отримуємо

$$\begin{cases} -D_1t_g^2 / 2 = V; \\ \frac{1}{2}D_1t_1^2(t_1 / 3 - t_g) + D_4 = \xi_1. \end{cases} \quad (52)$$

З першого рівняння системи (52) знаходимо

$$D_1 = -2V / t_g^2. \quad (53)$$

Підставимо вираз (53) в друге рівняння системи (52), в результаті чого будемо мати

$$-\frac{V}{t_g^2}t_1^2(t_1 / 3 - t_g) + D_4 = \xi_1.$$

З останнього рівняння знаходимо

$$D_4 = \xi_1 + V \frac{t_1^2}{t_g^2}(t_1 / 3 - t_g). \quad (54)$$

Підставивши вираз (53) в залежності (48) та (51), знайдемо:

$$D_2 = \frac{2V}{t_g^2}(t_1 - t_g); \quad D_3 = \frac{2V}{t_g^2}t_1(t_g - t_1 / 2). \quad (55)$$

В результаті підстановки виразів (53),..., (55) в залежність (24) знайдемо оптимальний режим гальмування захватного пристрою, який мінімізує динамічну складову потужності процесу гальмування

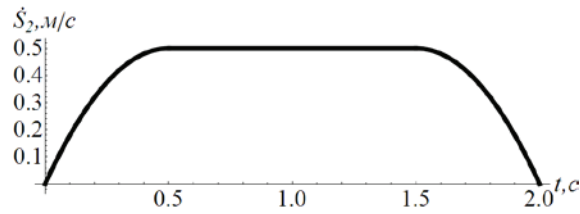
$$\begin{cases} \xi = \frac{V}{t_g^2} \left[ -\frac{t^3}{3} + (t_1 - t_g)t^2 + 2(t_g - t_1 / 2)t t_1 + t_1^2(t_1 / 3 - t_g) \right] + \xi_1; \\ \dot{\xi} = \frac{V}{t_g^2} \left[ -t^2 + 2(t_1 - t_g)t + 2(t_g - t_1 / 2)t_1 \right]; \\ \ddot{\xi} = 2 \frac{V}{t_g^2} \left[ -t + (t_1 - t_g) \right]. \end{cases} \quad (56)$$

За кінематичними характеристиками захватного пристрою визначимо характеристики узагальнених координат, що забезпечують оптимальний режим гальмування для мінімізації динамічної складової потужності:

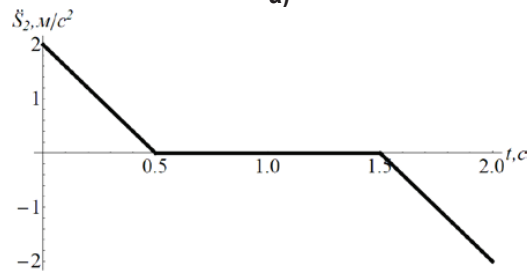
$$\begin{cases} S_2 = Z_0 + (z_1 - z_0) \left\{ \frac{1}{t_1 t_g^2} \left[ -\frac{t^3}{3} + (t_1 - t_g)t^2 + 2\left(t_g - \frac{t_1}{2}\right)t t_1 + t_1^2\left(\frac{t_1}{3} - t_g\right) \right] + 1 \right\}; \\ \dot{S}_2 = \frac{z_1 - z_0}{t_1 t_g^2} \left[ -t^2 + 2(t_1 - t_g)t + 2\left(t_g - \frac{t_1}{2}\right)t_1 \right]; \\ \ddot{S}_2 = 2 \frac{z_1 - z_0}{t_1 t_g^2} \left[ -t + t_1 - t_g \right] \square \end{cases} \quad (57)$$

$$\begin{cases} S_3 = y_0 + (y_1 - y_0) \left\{ \frac{1}{t_1 t_g^2} \left[ -\frac{t^3}{3} + (t_1 - t_g)t^2 + 2\left(t_g - \frac{t_1}{2}\right)t t_1 + t_1^2\left(\frac{t_1}{3} - t_g\right) \right] + 1 \right\}; \\ \dot{S}_3 = \frac{y_1 - y_0}{t_1 t_g^2} \left[ -t^2 + 2(t_1 - t_g)t + 2\left(t_g - \frac{t_1}{2}\right)t_1 \right]; \\ \ddot{S}_3 = 2 \frac{y_1 - y_0}{t_1 t_g^2} \left( -t + t_1 - t_g \right). \end{cases} \quad (58)$$

В результаті проведених розрахунків побудуємо графічні залежності кінематичних характеристик узагальне-

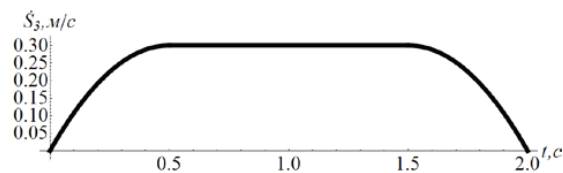


а)

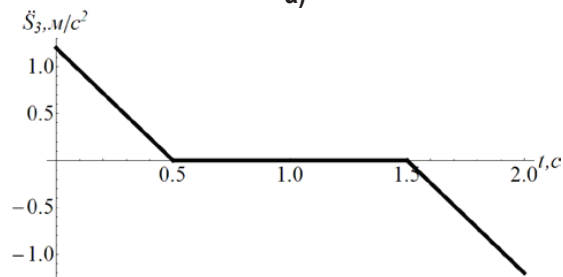


б)

Рис. 5. Графік швидкості (а) та пришвидшення (б) приводу механізму підйому захвату при триперіодній оптимальній діаграмі руху.



а)



б)

Рис.6. Графік швидкості (а) та пришвидшення (б) приводу механізму зміни вильоту захвату при триперіодній оптимальній діаграмі руху

них координат, які на ділянці усталеного руху відповідають оптимальному енергетичному режиму, а на ділянках пуску та гальмування - режиму, що мінімізує динамічну складову потужності. На рис. 5 та 6 представлені графічні залежності швидкості та пришвидшення отриманих оптимальних режимів руху механізмів підйому та зміни вильоту захвату.

**Висновки.** В представленій роботі наведено оптимізацію режиму руху маніпулятора, що складається з двох поступальних і однієї обертальної ланки. Розглянуто рух маніпулятора в площині зміни вильоту між двома заданими положеннями захватного пристрою з вантажем. За траєкторію руху захватного пристрою з вантажем прийнято пряму лінію, що з'єднує ці положення.

Визначені оптимальні режими руху захватного пристрою з вантажем вздовж цієї траєкторії за критеріями

енергетичних витрат та динамічної складової потужності на всій ділянці руху, а також на ділянках пуску та зупинки. За першим оптимальним режимом рух захвату повинен здійснюватись на всій ділянці з постійною швидкістю, а за другим – швидкість повинна змінюватись за параболічним законом. Також розроблений комплексний оптимальний режим руху захватного пристрою, коли на ділянках пуску та гальмування швидкість змінюється за параболічним законом, який відповідає оптимальному режиму за критерієм динамічної складової потужності, а на ділянці усталеного руху є постійною.

Для отриманих оптимальних режимів руху захватного пристрою з вантажем визначені закони руху узагальнених координат, які дозволяють встановити характеристики приводних механізмів і систем їхнього керування.

### **Бібліографічні посилання:**

1. Bansal J. C., Gupta V. K., Kumar P. (2017). A review of genetic algorithms and their applications in robotics. *Advances in Robotics & Automation*. vol. 6. no. 1. pp. 1-11.
2. Faustini A., Oriolo G., Vendittelli M., Freda L. (2015). Adaptive control of robot manipulators with trajectory tracking. *International Journal of Control*, vol. 88. no. 11. pp. 2245-2257.
3. Gao X., Qian Y., Zhou Y. (2019). Optimal trajectory planning for robotic manipulators based on an improved artificial bee colony algorithm. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. vol. 55. pp. 79-89.
4. Gharavian M. Ahmadi M. T. (2012). A new approach to inverse kinematics solution for redundant manipulators using the ant colony algorithm. *Mechatronics*. vol 22. no 5. pp. 579-587.
5. Hameed Z. K., Atiq M. T. (2021). Solving inverse kinematics problems of redundant manipulators using a hybrid learning algorithm. *Applied Soft Computing*. vol 98. pp. 106885.
6. Jahanbekam M. R., Alasty A., Moosavi M. R. (2016). A comparison of gradient-based optimization algorithms for inverse kinematics of redundant manipulators. *Robotica*. vol 34. no 9. pp. 2023-2037.
7. Kim M. K., Lee K. R., Park H. W. (2018). Trajectory planning and control of a wheeled mobile robot for path following in outdoor environments. *International Journal of Control, Automation, and Systems*. vol. 16. no. 6. pp. 2707-2717.
8. Kim S., Lee S. S., Kim H. S. (2017). Optimal trajectory planning and control of a quadrotor using a nonlinear model predictive controller. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. vol. 87. no. 1. pp. 105-117.
9. Li H., Chen W., Lu W. (2017). Trajectory tracking control of a four-wheel-steering electric vehicle based on differential flatness. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. vol. 14. no. 1. pp. 1-12.
10. Loveikin V., Romasevych Y., Loveikin A., Lyashko A., Korobko M. (2022). Minimization of high frequency oscillations of trolley movement mechanism during steady tower crane slewing. *U.P.B Sci. Bull. Series D*. 84. N 1. P. 31-44.
11. Loveikin V., Romasevych Y., Shymko L., Mushtin D., Loveikin Y. (2021). The optimization of luffing and slewing regimes of a tower crane. *Journal of Theoretical and applied Mechanics*. 51. P. 421-436.
12. Lovejkin V. S., Mishchuk D. A. (2019). Synthesis of the optimal dynamic mode of movement of the manipulator boom mounted on an elastic base. *Science and technology*. Vol.18. Nr.1. 55-61.
13. Loveykin V. S., Mishchuk D. O., Mishchuk Ye. O. (2022). Optimization of manipulator's motion mode on elastic base according to the criteria of the minimum central square value of drive torque. *Strength of Materials and Theory of Structures*. Nr.109. pp. 403-415.
14. Mousavi M. R., Gholami M. (2018). A review of inverse kinematics solutions for serial-link robot manipulators. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. vol 90. no 1-2. pp. 17-49.
15. Saha S. K. Bhattacharyya B. (2018). Trajectory optimization of robot manipulators: A review. *Robotics and Autonomous Systems*. vol. 101. pp. 52-71.
16. Wang Y., Gao Z., Zhu J. (2017). Multi-objective optimization of robot path planning based on improved genetic algorithm. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. vol. 88. no. 1. pp. 29-44.
17. Zeeshan A. I., Atiq M. T., Ehsan M. (2014). Inverse kinematics solutions using neural networks for a five degree of freedom robot manipulator. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. vol 11. no 10. pp. 1-8.
18. Zhang J., Li J., Liu Y. (2018). Optimal trajectory planning for industrial robots based on simulated annealing algorithm. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. vol. 89. no. 3-4. pp. 577-592.
19. Zhang X., Hu W. (2019). Trajectory planning for autonomous underwater vehicles using a hybrid optimization algorithm. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. vol. 96. no. 1. pp. 69-84.

**Loveikin V. S.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Romasevych Yu. O.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Kadykalo I. O.**, Candidate of Technical Sciences, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Kalenichenko B. V.**, student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

### **Optimization of the movement mode of a manipulator with two progressive and one rotary links in the plane of change of range**

The cited scientific work presents the process of optimizing the motion modes of a manipulator robot with two translational and one rotational links in the plane of change of departure of the gripping device with the load. This process includes the selection of a movement path of the gripper between two points of movement of the load, in which the minimum distance of movement of the gripper is ensured. The movement mode of the gripping device with the load along the selected trajectory is optimized according to a certain criterion. The gripper movement mode was optimized according to two integral dynamic criteria, which reflect the average values of kinetic energy and dynamic power component in the movement section. According to the first criterion, the mode of movement of the gripping device with a constant speed over the entire movement section is optimal, and according to the second criterion, the optimal speed should change according to the parabolic law. In the optimal energy mode of movement of the gripping device with a load, there are no start and stop sections, so it can be used only in the section of steady movement of the gripper. The optimal movement mode of the gripping device according to the criterion of the dynamic component of power ensures the minimum value of the power of the drive mechanisms, however, when using such a mode on the entire movement section, it leads to an increase in energy costs. This mode of movement of the gripping device is recommended for use in the start and stop areas, as well as when moving

*the gripper over small distances. A complex optimal mode of movement of the gripping device is also determined, where the speed changes according to the parabolic law in the starting and braking sections, which corresponds to the optimal dynamic mode of motion, and in the section of steady motion is constant and provides the optimal energetic mode of motion. The connections between the characteristics of the optimal motion modes of the gripping device with the load along the selected trajectory and the coordinate axes in the plane of departure change are established. Also, by solving the inverse problem, the kinematic characteristics of the generalized coordinates of the manipulator at the selected optimal modes of movement were determined in order to establish the necessary parameters and characteristics of the drive mechanisms for lifting and extending the gripper arm and their control systems. The connections between the characteristics of the optimal movement modes of the gripping device with the load along the selected trajectory and the coordinate axes in the plane of departure change are established. Also, by solving the inverse problem, the kinematic characteristics of the generalized coordinates of the manipulator at the selected optimal modes of movement were determined in order to establish the necessary parameters and characteristics of the drive mechanisms for lifting and extending the gripper arm and their control systems. The connections between the characteristics of the optimal movement modes of the gripping device with the load along the selected trajectory and the coordinate axes in the plane of departure change are established.*

**Key words:** *manipulator, gripping device, motion trajectory, optimization criterion, optimal motion modes, generalized coordinates.*



**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИПРАЦЮВАННЯ ПАРИ ТЕРТЯ  
«ВКЛАДИШ ПІДШИПНИКА – ШИЙКА ВАЛУ»**

**Майфат Микола Миколайович**

PhD студент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0009-0004-0563-929X

mayfat\_snau@ukr.net

**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

**Гапонова Оксана Петрівна**

доктор технічних наук, професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-4866-0599

gaponova@pmtkm.sumdu.edu.ua

**Радіонов Олександр Володимирович**

доктор технічних наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-7282-578X

ferrohydrodynamica@gmail.com

**Тарельник Наталія В'ячеславівна**

кандидат економічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-6304-6925

natasha-tarelnik@ukr.net

*В статті проведений аналіз існуючих на теперішній час літературних та патентних джерел, направлених на покращення параметрів якості поверхневих шарів підшипникових шийок валів роторних машин за рахунок формування прироблювальних покриттів. Дослідження проводили на зразках зі сталі 45 і 40Х. Металографічні дослідження шліфів було проведено на оптичному мікроскопі «Неофот-2». Виконувалась оцінка якості нанесеного шару, його суцільності, товщини та будови зон підшару. Вимірювання мікротвердості проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавлюванням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н. Шорсткість вимірювали на приладі профілограф-профілометр мод. 201 заводу «Калібр» шляхом зняття та обробки профілограм. Дослідження залишкових напружень проводили на призматичних зразках із сталі 45 і сталі 40Х розміром 70×5×2 мм за методикою І.А. Біргера шляхом шарового електрополірування напружених шарів на установці типу «Піон». Випробування на втомлювальну міцність проводили на машині УП-50 на базі 1×10<sup>6</sup> циклів. Для цього використовувалися натурні зразки.*

*В результаті цементації методом електроіскрового легування (ЦЕІЛ) сталевих зразків зі збільшенням енергії розряду товщина і суцільність «білого» шару збільшуються. Проведений металографічний аналіз показав, що мікроструктури після ЦЕІЛ складаються з 3-х зон: верхній «білий» шар, дифузійна зона і основний метал. Результати дюрOMETричних досліджень свідчать, що максимальна мікротвердість визначається на зразках після ЦЕІЛ, оброблених при енергії розряду  $W_p = 4,6$  Дж і складає 8492 МПа. При наступному ЕІЛ м'якими антифрикційними металами (мідь, срібло, олово, індій) з збільшенням енергії розряду збільшується шорсткість поверхневого шару і його товщина. Після наступної безабразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО), як шорсткість поверхневого шару, так і його товщина зменшуються.*

*Залишкові напруги, що виникають у поверхневих шарах деталей після ЕІЛ м'якими антифрикційними металами міддю і сріблом і є негативними розтягуючими, після БУФО стають позитивними стискаючими. Втомна міцність покриттів на сталі 45, сформованих нанесенням методом ЕІЛ міді с послідуною обробкою БУФО, відповідно на 19% і 86% більше чим у зразків без покриття і після ЕІЛ міддю.*

**Ключові слова:** електроіскрове легування, шийки валу, твердість, шорсткість, покриття, електрод, матеріал, поверхня.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.9>

**Вступ.** Переважна більшість деталей роторних машин працює в дуже складних умовах. Це високі швидкості, тиски та температури, а також негативні оточуючі середовища, в результаті яких поверхні деталей зношуються. Враховуючи те, що зношування деталей розпочинається з поверхневих шарів деталей, потрібно на всіх етапах їх життєвого циклу приділяти дуже значну увагу його якості. Створення поверхневих шарів з характерними властивостями для вузлів тертя ковзання, в даному випадку підшипників ковзання (ПК) є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** При виготовленні вкладишів підшипників (ВП) та підшипникових шийок (ПШ) роторів завжди є відхилення від їх ідеальної геометричної форми, які називаються похибками. Додаткові неточності додаються при установці ротора.

Приробіток є необхідним і важливим етапом для подальшої роботи ПК, визначаючи одночасно і термін його служби. Вважається (SKF general catalog), що шляхом приробітку готуються поверхні, для того, щоб витримувати великі навантаження більш тривалий час. Цей процес можна охарактеризувати як процес останнього доведення, підгонки, шліфування та виправлення, що відбувається сам по собі в легких експлуатаційних умовах (Bhushan B., 1990).

У (Zaporozhets V.V. et al., 2000) стверджується, що «процес приробітку є прогресивним вирівнюванням поверхонь, що призводить до більшої міцності під навантаженням і до меншого зносу». Ця думка заснована на спостереженні того, що найбільш тонко відшліфовані поверхні мають реальну контактну поверхню тільки в розмірі 1/10000 частки контактної поверхні, в той час як після приробітку це відношення зростає приблизно до 1/200.

Умови оптимального приробітку зводяться до наступних (SKF general catalog): уникати заїдання, не залишати слідів, які б впливали на довговічність чи наступні показання ПК, продовжуватися якнайменше. У разі відсутності поверхневих дефектів, умову правильного складання потрібно обов'язково дотримуватися, тому що якість поверхні ніколи не зможе компенсувати неправильність складання або дефекти геометрії (овальність, конусність тощо).

Для виконання приробітку потрібно також використання якомога більш рідкого мастила, як внаслідок того, що спочатку зазори дуже малі, вимагаючи невеликої в'язкості мастила, так і внаслідок великих можливостей відведення тепла, утвореного тертям, та промивання підшипників (Bhushan B., 1990).

Встановлено (SKF general catalog), що припрацювання шорстких поверхонь проводиться швидше, ніж гладких. Це пояснюється тим, що у западинах мікронерівностей шорстких поверхонь, створюються зони нерухомої рідини (мастила), що сприймають частину навантаження і збільшують при цьому несучу здатність поверхні

Покриття, нанесені на поверхні, що труться, дозволяють значно підвищити надійність машин і приладів (Skuratovskiy A.K., 2019). За допомогою покриттів можна забезпечити: мінімальний знос поверхонь, що труться;

найнижчий коефіцієнт тертя та мінімальна зміна його в процесі роботи; підвищення контактної витривалості матеріалів вузлів тертя; підвищення корозійної стійкості поверхонь тертя в робочому середовищі та ін.

Згідно технологічному процесу виготовлення ПК, спочатку робочі поверхні піддається лудінню, а потім, використовуючи відцентрову заливку наносять на поверхню бабіт. При цьому на майданчиках фактичного контакту поверхонь діють сили молекулярного тяжіння, які проявляються на відстанях у десятки разів, що перевищують міжатомні в кристалічних ґратах, і збільшуються з підвищенням температури. Перехідний шар, що зумовлює міцний металевий зв'язок, при цьому відсутній, що негативно впливає на якість заливки бабіту, теплопровідність та працездатність підшипника загалом (Tarelnyk V.B. et al., 2010).

В (Panevnyk O.V. & Panevnyk D.O., 2018), для створення більш надійного зчеплення металізацією, що наноситься напиленням металу, пропонуються різні способи. Застосовують, наприклад, гальванічне нарощування міддю. Інше напрям підвищення міцності зчеплення – металізація в захисній середовищі.

Нами в попередніх роботах було запропоновано на сталеву підкладку перед лудінням оловом наносити проміжний шар з міді. Застосування перехідних шарів із міді, нанесених методом електроіскрового легування (ЕІЛ) на основу зі сталі 20, на 35 % підвищує міцність її зчеплення з антифрикційним бабітовим шаром (Patent Ukrainy №64663A, 2004).

Наступними дослідженнями нами встановлено, що більш технологічно захистити поверхню ВП від руйнування можна шляхом нанесення приробіткового покриття на цапфу валу. Спосіб включає формування методом ЕІЛ на поверхні шийки валу покриття з м'якого антифрикційного металу, вибраного з групи: індій, олово, мідь, срібло, після її зміцнення цементацією, яка проводиться цим же методом (ЦЕІЛ). Потім, для зниження шорсткості поверхню піддають обробці методом БУФО (безабразивній ультразвуковій фінішній обробці) (Patent Ukrainy №105422 UA., 2014; Tarelnyk V. et al. 2014).

Спосіб ЕІЛ має ряд специфічних особливостей: матеріал анода може утворювати на поверхні катода шар покриття, надзвичайно міцно зчеплений з поверхнею; легування можна здійснювати в строго зазначених місцях, не захищаючи при цьому решту поверхні деталі. До недоліків способу слід віднести збільшення шорсткості поверхневого шару, формування негативних напружень, що розтягують і зниження втомлювальної міцності (Tarelnyk V.B. et al., 2021).

Таким чином, на підставі проведеного аналізу існуючих методів нанесення на поверхневі шари підшипникових шийок валів прироблювальних покриттів, можна відмітити, що їх формують в послідовності (Tarelnyk V. et al. 2014): ЦЕІЛ → ЕІЛ (м'якими антифрикційними металами) → БУФО. В поверхневому шарі після ЦЕІЛ формуються негативні напруження, що розтягують і знижують втомлювальну міцність. Це може привести до передчасного руйнування валу ротора і серйозних аварій (Tarelnyk V. & Martynkovskyy V., 2014).

При проведенні БУФО деформується поверхневий шар з м'якого антифрикційного матеріалу, нанесеного на більш тверду сталю поверхню після ЦЕІЛ. При цьому твердий шар з сталю металу не деформується і як наслідок в ньому залишаються негативні напруження, що розтягують і знижуються втомлювальна міцність. На наш погляд усунути ці негативні наслідки в поверхневому шарі після ЦЕІЛ можливо проведенням наступною БУФО.

Метою роботи є підвищення якості поверхневих шарів підшипникових шийок (цапф) сталю валів, шляхом проведення після ЦЕІЛ і перед нанесенням поверхневого шару з м'якого антифрикційного матеріалу, поверхневого пластичного деформування, яке виконують БУФО.

**Методи дослідження.** Для досліджень використовували круглі зразки з сталю 45 і 40X (рис. 1).

ЦЕІЛ проводили на установці «ЕІЛ-9» графітовим електродом в автоматизованому режимі в діапазоні  $W_p$  від 0,04 до 0,08 Дж. (рис. 2, а) Продуктивність легування складала 1 і 5 хв /  $см^2$ . Після ЦЕІЛ проводили обробку поверхневого шару методом БУФО (рис. 2, б), а потім виконували нанесення шару з м'якого антифрикційного матеріалу на токарно-гвинторізному верстаті мод. 16К20. Вібратор установки «ЕІЛ – 8А» через 2 перехідник 3 кріпився в утримувачі 4 (рис. 2, в). Підведення електрода 5 здійснювалося механізмами верстата. Вибір режимів автоматизованого зміцнення (частота обертання шпинделя, подача) здійснювався, згідно заданої продуктивності процесу ЕІЛ.

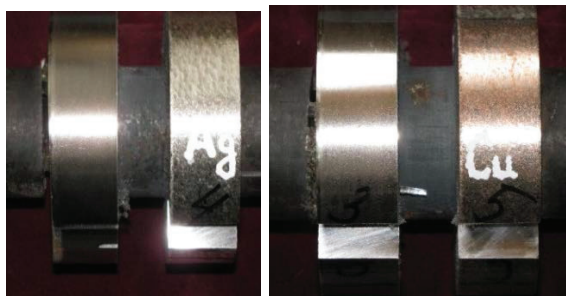


Рисунок 1. Зразки зі сталю 40X після ЕІЛ сріблом і міддю

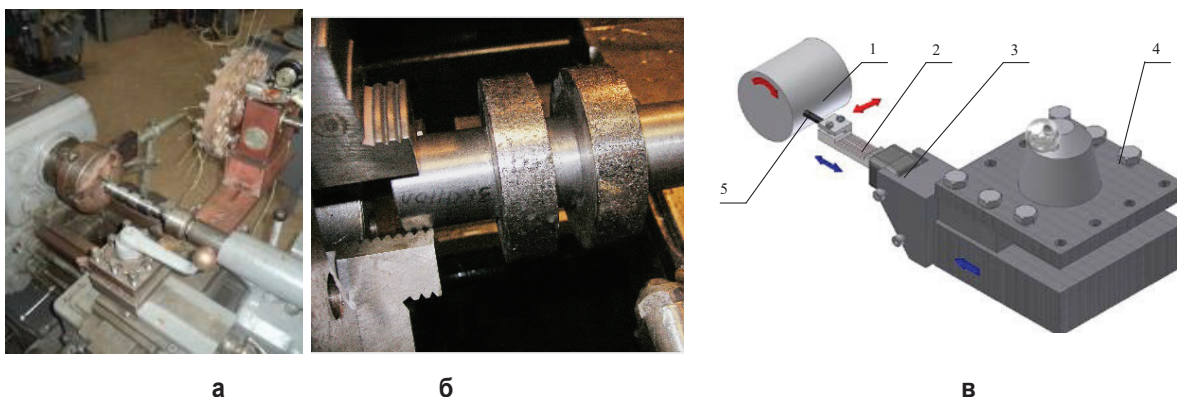


Рисунок 2. ЦЕІЛ зразка сталю 40X на установці «ЕІЛ-9» графітовим електродом (а); проведення БУФО (б) і нанесення поверхневого шару з м'якого антифрикційного матеріалу в автоматизованому режимі (в)

Після нанесення поверхневого шару з м'яких антифрикційних металів з срібла і міді знову проводили БУФО.

При металографічних дослідженнях шліфи з зразками досліджували на оптичному мікроскопі «Неофот-2», де проводилася оцінка якості структури шару. Вимірювання мікротвердості проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавлюванням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н. Шорсткість вимірювали на приладі профілограф-профілометр мод. 201 заводу «Калібр» шляхом зняття та обробки профілограм. Дослідження залишкових напружень проводили на призматичних зразках із сталю 45 і сталю 40X розміром 70×5×2 мм за методикою І.А. Біргера шляхом шаро-

вого електрополірування напружених шарів на установці типу «Піон».

Випробування на втомлювальну міцність проводили на машині УП-50 на базі  $1 \times 10^6$  циклів. Для визначення меж витривалості були виготовлені натурні зразки сталю 45 з робочим діаметром 50 мм.

**Результати досліджень.** На рис. 3 зображені мікроструктури (а-в) і розподіл мікротвердості за товщиною шару (г) зразків сталю 45 після ЦЕІЛ. Результати зведені до табл. 1.

Проведений металографічний аналіз показав, що мікроструктури після ЦЕІЛ складаються з 3-х зон: верхній «білий» шар, дифузійна зона і основа. Необхідно відзначити, що зі збільшенням енергії розряду товщина

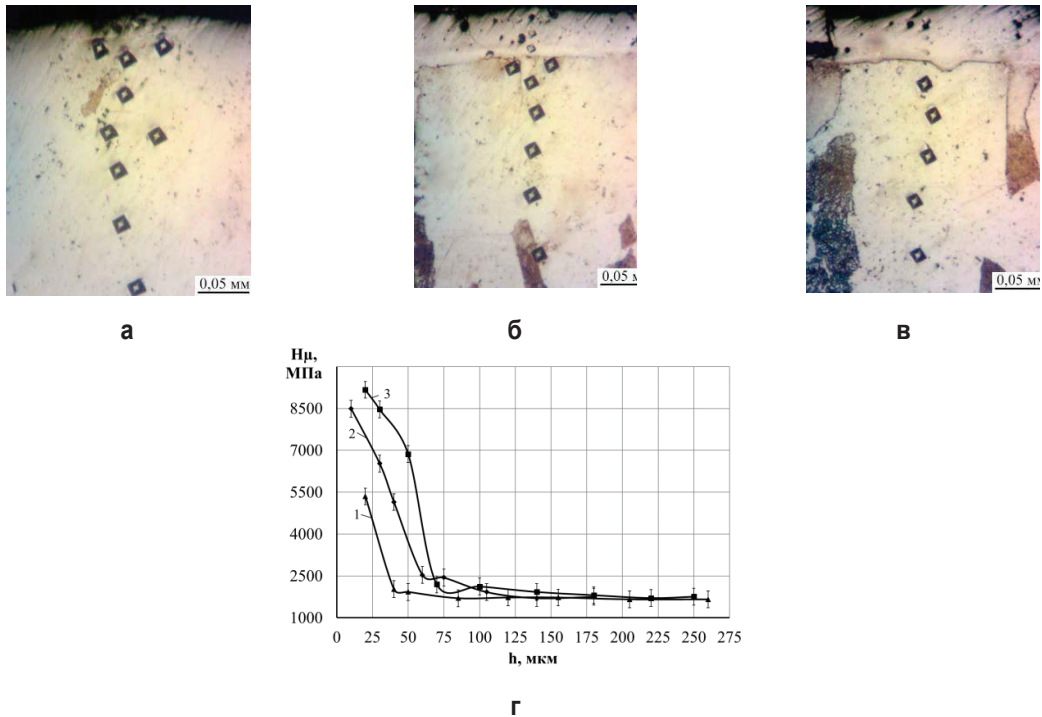


Рисунок 3. Мікроструктури (а-в) та розподіл мікротвердості (г) зразка сталі 20 першої серії після ЦЕІЛ: а –  $W_p = 0,9$  Дж; б –  $W_p = 2,6$  Дж; в –  $W_p = 4,6$  Дж; на графіку (г): 1 –  $W_p = 0,9$  Дж; 2 –  $W_p = 2,6$  Дж; 3 –  $W_p = 4,6$  Дж

Табл. 1

Зведена таблиця параметрів якості поверхні для зразків сталі 45 після ЦЕІЛ

Енергія розряду, $W_p$ , Дж	Товщина «білого» шару, мкм	Мікротвердість «білого» шару, МПа	Суцільність «білого» шару, %	Шорсткість поверхні, $R_a$ , мкм
0,9	15-30	5347	50-60	0,8-0,9
2,6	30-60	7168	70-80	5,1-6,7
4,6	25-60	8492	70-80	8,3-9,0

і суцільність «білого» шару збільшуються (табл. 1). Результати дюрOMETричних досліджень свідчать про те, що максимальна мікротвердість визначається на зразках після ЦЕІЛ, при  $W_p = 4,6$  Дж – 8492 МПа.

В табл. 2 зведені дані параметрів якості поверхневих шарів сталі 45 після ЕІЛ з м'якими антифрикційними металами

Аналіз табл. 2 показує, що з збільшенням енергії розряду збільшується шорсткість поверхневого шару і його товщина. Після наступної БУФО шорсткість поверхневого шару, сформованого з м'яких металів значно зменшується (табл. 3).

Результати вимірювання шорсткості та залишкових напружень поверхневих шарів сталі 45 і сталі 40Х зведені в табл. 4.

Залишкові напруги, що виникають у поверхневих шарах деталей, нерозривно пов'язані з такою експлуатаційною характеристикою, як втомлювальна міцність.

Результати досліджень на втомлювальну міцність зведені в табл. 5.

Аналіз табл. 5 показує, що зразки зі сталі 45 без покриття, з ЕІЛ міддю і з ЕІЛ міддю + БУФО, відповідно витримують навантаження до зламу: 414, 263 і 488 МПа.

#### Висновки:

1. В результаті ЦЕІЛ сталевих зразків зі збільшенням енергії розряду товщина і суцільність «білого» шару збільшуються. Проведений металографічний аналіз показав, що мікроструктури після ЦЕІЛ складаються з 3-х зон: верхній «білий» шар, дифузійна зона і основний метал.

2. Результати дюрOMETричних досліджень свідчать, що максимальна мікротвердість визначається на зразках після ЦЕІЛ, оброблених при енергії розряду  $W_p = 4,6$  Дж і складає 8492 МПа.

3. При ЕІЛ м'якими антифрикційними металами (мідь, срібло, олово, індій) з збільшенням енергії розряду збільшується шорсткість поверхневого шару і його товщина. Після наступної БУФО, як шорсткість поверхневого шару, так і його товщина зменшуються.

4. Залишкові напруги, що виникають у поверхневих шарах деталей після ЕІЛ м'якими антифрикційними металами міддю і сріблом і є негативними, що розтягують, після БУФО стають позитивними що стискають.

5. Втомна міцність покриттів на сталі 45, сформованих нанесенням методом ЕІЛ міді з послідуною обробкою БУФО, відповідно на 19% і 86% більше чим у зразків без покриття і після ЕІЛ міддю.



Табл. 2

**Параметри якості покриття з м'яких металів, нанесених методом ЕЕЛ на сталь 45**

Режим Wp, Дж	Раціональний час ЕІЛ, хв	Шорсткість поверхні, Rz, мкм				Приріст, Δh, мм			
		Cu	In	Sn	Ag	Cu	In	Sn	Ag
0,01	4,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,01	0,01	0,01	0,01
0,02	3,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,01	0,02	0,01	0,01
0,04	3,0	0,1	0,8	1,0	0,7	0,02	0,02	0,03	0,02
0,05	2,7	1,2	-	1,5	0,8	0,03	-	0,05	0,02
0,08	2,0	1,3	-	4,5	1,0	0,03	-	0,10	0,03

Табл. 3

**Параметри якості покриття після БУФО**

Режим Wp, Дж	Раціональний час ЕІЛ, хв	Шорсткість поверхні, Rz, мкм		Приріст, Δh, мкм	
		Cu	Ag	Cu	Ag
0,01	4,0	0,3	0,2	5	5
0,02	3,5	0,3	0,2	5	5
0,04	3,0	0,3	0,3	6	5
0,05	2,7	0,3	0,3	7	5
0,08	2,0	0,3	0,3	8	6

Табл. 4

**Результати вимірювання шорсткості та залишкових напружень на сталених зразках**

Сталь	Від обробки	Шорсткість, Ra, мкм	Залишкові напруження, σ, МПа
45	Без обробки	0,05	-70
	ЕІЛ	0,9	+170
	ЕІЛ + БУФО	0,05	-200
	БУФО	0,05	-540
40X	Без обробки	0,05	-70
	ЕІЛ	0,9	+150
	ЕІЛ + БУФО	0,05	-250
	БУФО	0,05	-640

Табл. 5

**Результати випробувань зразків зі сталі 45 на втомлювальну міцність**

Вид зміцнення	Навантаження P, Н	Кількість циклів, n	Характер руйнування	Напруження, σ, МПа
Без зміцнення	10000	База 1×10 <sup>6</sup>		376
	11000	780000	Руйнування	414
	11000	902000	Теж саме	414
ЕІЛ Cu	4000	База 1×10 <sup>6</sup>		150
	5000			187,5
	6000			225
ЕІЛ Cu +БУФО	7000	630000	Теж саме	263
	10000	База 1×10 <sup>6</sup>		376
	11000	"		414
	12000	"		451
	13000	125000	Теж саме	488

**Бібліографічні посилання:**

1. SKF general catalog. Rolling bearings. PUB BU/P1 17000/1 EN, 2018. 1152 p. <https://www.skf.com/ua/uk/products/index.html>.
2. Bhushan B. (1990). Contact between Solid Surfaces. In: Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0335-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0335-0_3)
3. Zaporozhets V. V., Biliakovych O. M., Zakharchenko A. V. (2000) Otsinka mastylnoi dii transmisiinykh olyv v zalezhnosti vid materialu tribopoluchen [Estimation of the lubricating effect of transmission oils depending on the material of tribocompounds]. *Problemy trybolohii (Problems of Tribology)*. – № 4. – S. 90-93 (in Ukrainian).

4. Skuratovskiy A.K. (2019). Pidshypnyky kovzannia. Navchalnyi naochnyi posibnyk [Sliding bearings. Educational visual guide] [Elektronnyi resurs]: dlia zdobuvachiv stupenia bakalavra za spetsialnostiamy 131 «Prykladna mekhanika», 133 «Haluzeve mashynobuduvannia» – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho. – 38 s. (in Ukrainian)
5. Tarelnyk V.B., Konoplianchenko Ye.V., Martsynkovskiy V.S., Antoshevskiy Bohdan (2010). Trybotekhnolohiia detalei mashyn : Navchalnyi posibnyk [Tribotechnology of machine parts: Training manual]. – Sumy: Vydavnytstvo «MakDen». – 260 s. (in Ukrainian).
6. Panevnyk O.V., Panevnyk D.O. (2018). Doslidzhennia vplyvu ekspluatatsiinykh faktoriv na znoshuvannia elementiv sverdlovnyykh strumynnykh nasosiv [Study of the influence of operational factors on the wear of elements of well jet pumps]. *Ivano-Frankivskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet nafty i hazu «Molodyi vchenyi»* – № 11 (63) – lystopad, 2018 r. S.377-381. (in Ukrainian)
7. Patent Ukrainy №64663A (2004) Sposib obrobky vkladyshev pidshypnykiv kovzannia [The method of processing the liners of sliding bearings] / Martsynkovskiy V.S., Tarelnyk V.B. / MKV V23N1/00. Opubl. 16.02.2004, Biul. № 2. (in Ukrainian)
8. Patent Ukrainy №105422 UA. (2014) Sposib polipshennia prypratsovuvanosti pary tertia «vkladyshev pidshypnykashyika vala» [The method of improving the workability of the friction pair «bearing insert-shaft neck»] / Tarelnyk V.B., Martsynkovskiy V.S., Dziuba O.V. / MPK (2014.01), B23H 1/00, B23H 5/00. (in Ukrainian)
9. Tarelnyk V. et al. (2014). New Method of Friction Assemblies Reliability and Endurance Improvement. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 630, pp. 388-396. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.388>
10. Tarelnyk V.B., Gaponova O.P., Loboda V.B., Konoplyanchenko E.V., Martsinkovskii V.S., Semirnenko Y.I., Tarelnyk N.V., Mikulina M.A., Sarzhanov B.A. (2021). Improving Ecological Safety when Forming Wear-Resistant Coatings on the Surfaces of Rotation Body Parts of 12Kh18N10T Steel Using a Combined Technology Based on Electrospark Alloying. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 57(2), pp. 173–184.
11. Tarelnyk V. and Martsynkovskyy V. (2014). Upgrading of Pump and Compressor Rotor Shafts Using Combined Technology of Electroerosive Alloying. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 630, pp. 397-412, 2014 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.397>

**Maifat M. M.**, PhD student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

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

**Gaponova O. P.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

**Radionov O. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Tarelnyk N. V.**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Improvement of the technology of processing the friction pair "bearing insert – shaft neck"**

The article analyzes the currently existing literary and patent sources aimed at improving the quality parameters of the surface layers of the bearing necks of the shafts of rotary machines due to the formation of surface coatings. The research was carried out on samples made of steel 45 and 40X. Metallographic studies of the grindings were carried out on the optical microscope "Neofot-2". The quality of the applied layer, its integrity, thickness and structure of the sublayer zones were evaluated. Microhardness was measured on a PMT-3 microhardness tester by indenting a diamond pyramid under a load of 0.05 N. Roughness was measured on a profilograph-profilometer mod. 201 of the "Kalibr" plant by taking and processing profilograms. Research of residual stresses was carried out on prismatic samples made of steel 45 and steel 40X, size 70×5×2 mm according to the method of I.A. Birger by means of layer-by-layer electropolishing of stressed layers on a "Peony" type installation. Fatigue strength tests were performed on a UP-50 machine based on 1×10<sup>6</sup> cycles. For this, natural samples were used.

As a result of cementation by the method of electric spark alloying (CEIL) of steel samples, the thickness and integrity of the "white" layer increases with an increase in the discharge energy. The conducted metallographic analysis showed that the microstructures after CEIL consist of 3 zones: the upper "white" layer, the diffusion zone and the base metal. The results of durometric studies indicate that the maximum microhardness is determined on samples after CEIL, processed at the discharge energy  $W_p = 4.6$  J and is 8492 MPa. With the subsequent EIL with soft antifriction metals (copper, silver, tin, indium), the roughness of the surface layer and its thickness increase with an increase in the discharge energy. After the next non-abrasive ultrasonic finishing treatment (BUFO), both the roughness of the surface layer and its thickness are reduced.

Residual stresses that arise in the surface layers of parts after EIL with soft antifriction metals copper and silver and are negative tensile, become positive compressive after BUFO. The fatigue strength of coatings on steel 45, formed by EIL copper application with subsequent BUFO treatment, is 19% and 86% higher, respectively, than that of samples without coating and after EIL copper.

**Key words:** electrospark alloying, shaft necks, hardness, roughness, coating, electrode, material, surface.

## ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ РІПАКУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ОБРОБКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ РІЗНИХ РЕЖИМІВ ЯК ЕКОЛОГІЧНИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ВРОЖАЙНОСТІ

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

*У статті проведений аналіз впливу електромагнітного випромінювання (ЕМВ) червоного (660 нм), синього (460 нм) діапазонів, та сумісного впливу, з експозицією 10 та 30 хвилин на кожний варіант опромінення ріпаку. Світлодіодна фітолампа Grow Light 2 Full Spectrum, яка використовувалась в дослідгах, 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, було можливо підібрати та відрегулювати кут освітлення. Подібна лампа може досягати 360° освітлення. Одна з найголовніших особливостей лампи – індивідуальний режим опромінення. Для дослідів були обрано ріпак, як одну з найпоширеніших культур на теренах України. Ріпак є економічно важливою алотетраплоїдною олійною культурою. Традиційно ріпак – одна з найбільш маржинальних та експортно орієнтованих сільськогосподарських культур. В якості контролю використовували неопромінене насіння. Вивчалися енергія проростання та лабораторна схожість і додатково довжина корінців та проростків. Отримані результати показали, що найвагомий вплив на енергію проростання та лабораторну схожість мав варіант сумісної дії і червоного і синього діапазонів впродовж 30 хвилин. Саме такий режим обробки в лабораторних умовах показує можливість активізації біопотенціалу насіння. Таким чином, саме активація групи різних фоторецепторів, і фітохромів і кріптохрому, є найефективнішим. Обробка впродовж 10 хвилин майже не мала впливу у всіх варіантах довжини хвилі. Це може бути пов'язано з тим, що вплив ЕМВ має пролонговану дію і може проявитися пізніше.*

*Для ріпаку різниця з контролем коливалась в межах 2%. Виявлений факт можливо пояснити особливостями біохімічних процесів, зокрема їх швидкості, що потребує подальшого вивчення.*

*В цілому, підвищення лабораторної схожості на енергії проростання насіння ріпаку, що є незначним в лабораторних умовах, але може мати вагомий ефект в умовах польових досліджень, з урахуванням погодних умов*

та інших факторах вирощування. Не виявлено закономірності змін в показниках довжини корінців та проростків у всіх варіантах досліду, що може говорити про нечутливість даного показника до обробки ЕМВ.

**Ключові слова:** електромагнітне випромінювання, довжина хвилі, фітохром, ріпак, біопотенціал, обробка насіння, врожайність, агротехнології.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.10>

**Вступ.** Ріпак є економічно важливою алотетраплоїдною олійною культурою, отриманою з *B. oleracea* L. і *B. gara* L. Незважаючи на високий вміст олії в насінні ріпаку, високий відсоток ерукової кислоти в ріпаківій олії (приблизно 40%) і високий рівень глюкозинолатів (80 мкмоль/г насіння) зробили олію непридатною для раціону людини. Поточні комерційні сорти ріпаку мають рівні глюкозинолатів, які майже не визначаються (менше 20 мкмоль/г насіння) (So, 2021). Ріпак став універсальною корисною культурою, яка добре себе зарекомендувала. У світі, за даними досліджень та аналізу інформації FAO, насіння ріпаку вирощують у майже 65 країнах на загальній площі близько 42 млн гектарів. Значний попит на насіння ріпаку та сприятлива кон'юнктура світового ринку зумовили розширення його виробництва вітчизняним агробізнесом протягом останніх років. Традиційно ріпак є однією з найбільш маржинальних та експортно орієнтованих сільгоспкультур. За 2018–2021 рр. обсяги експорту насіння ріпаку на світовий аграрний ринок збільшилися до 2,67 млн тон, а виручка досягла 1,69 млрд доларів США. (Kernasiuk, 2022). Зараз ріпак є другою поширеною олійною культурою у світі, на яку припадає понад 12% світових запасів олії. Кількість і якість білка, а також загальний вміст поживних речовин ріпаку досить хороші. Глобальний попит на джерела білка для споживання людиною та тваринами зростає зі швидким зростанням населення світу. Рослинні білки є хорошим джерелом для переробки їжі як альтернатива тваринним білкам. Макуха ріпаку має великий потенціал для використання як харчового інгредієнта з високим вмістом білка, а також є побічним продуктом біодизельної промисловості. (Bilmez, 2021; Safaei, 2022; Iassonova, 2022).

Таким чином, на сьогоднішній день ріпак є найпоширенішим видом культури родини Brassicaceae. Але, вплив зміни клімату на сільське господарство, а точніше на ріпак та його багатомірні біотичні та абіотичні зв'язки, може різко скоротити глобальне виробництво ріпаку, особливо у вразливих регіонах. Зміна клімату впливає на період росту сільськогосподарських культур, ріст сільськогосподарських культур, фотосинтез і інші важливі метаболізм рослин, площі орних земель, родючість ґрунту та дію біотичних факторів (шкідників, хвороб і бур'янів). (Bilmez, 2022). В зв'язку з цим актуальним становиться розробка екологічно-чистих і у той же час економічно-вигідних методів підвищення стійкості сільсько-господарських культур. Вже багато років досліджуються та ефективно використовуються різноманітні методи передпосівної обробки насіння для досягнення встановленої мети.

Такі агротехнічні методи можливо розділити на хімічні та фізичні. До хімічних методів передпосівної обробки належить протруювання фунгіцидами чи інсектофун-

гіцидами або дражування насіння, які окрім позитивного ефекту знезараження, мають негативний вплив на екосередовище. До фізичних методів обробки насіння належать: термічні, фізико–механічні, фотоенергетичні, радіаційні, магнітні та електрофізичні. (Bezpal'ko et al., 2021, Chervinskyi, 2015, Semenov et al., 2019, Slobodanyuk, 2022). Видатними вченими в області електрифікації сільськогосподарського виробництва доведена ефективність застосування оптичного випромінювання для отримання додаткової рослинницької продукції. Це обробка імпульсним сфокусованим сонячним випромінюванням, короткочасна і повторно–короткочасна обробка насіння сфокусованим хвильовим ультрафіолетовим випромінюванням, обробка когерентним лазерним випромінюванням (Chervinskyi, 2015). Основною метою електрофізичної передпосівної обробки насіння є стимуляція росту. (Taranov, 2021).

Останнім часом все більшої популярності набуває використання некогерентного оптичного випромінювання різних діапазонів на основі світлодіодних джерел енергії через його екологічну безпечність та економічну вигідність. Зокрема це червоний з довжиною хвилі 660 нм та синій з довжиною хвилі 460 нм спектри випромінювання, які сприймаються фоторецепторами та охоплюють низьку позитивних фізіолого-біохімічних ефектів. Фітохромі – рецептори червоного/дальнього червоного світла та криптохромі – рецептори синього світла є одними з найбільш досліджених сенсорних фоторецепторів у рослин. Ці структурно відмінні фоторецептори стають фотохімічно активними лише у відповідь на певну довжину хвилі. Співдія фітохромів і криптохромів була визнана протягом десятиліть. (Wang, 2017). Кріптохром та фітохром сприймають різні довжини хвилі світлового спектру, щоб регулювати пов'язані процеси розвитку за допомогою двох незалежних, але спільних сигнальних систем. Їх взаємодії, ймовірно, забезпечують загальну регуляцію росту клітин і фотоперіодичне цвітіння багатьох видів культур. Крім того, фоторецептори регулюють багато важливих агрономічних ознак, які, ймовірно, є видоспецифічними. Таким чином, розуміння взаємодії фітохром–кріптохром в окремих видах сільськогосподарських культур може дати змогу зрозуміти, як покращити врожайність і якість сільськогосподарських культур. (Su, 2017).

Якщо окремо ефектам фітохрома та кріптохрома різних культур приділялась велика увага, то ефекти їх взаємодії досліджені не достатньо, особливо на такій культурі як рапс. Метою наших досліджень було вивчення ростових процесів насіння рапсу залежно від обробки некогерентним оптичним випромінювання червоного та синього діапазонів, як окрема так і сумісно.

**Матеріали і методи досліджень.** Обробка здійснювалась з використанням експериментальної лабораторної



установки на основі напівпровідникових світлодіодних джерел ЕМВ з довжиною хвилі 660 нм (червоний діапазон) та 460 нм (синій діапазон). Світлодіодна фітолампа Grow Light 2 Full Spectrum 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+460нм), 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): АС85-265V. При дослідженні застосовували як окремо кожний з діапазонів, так і сумісно. В якості контролю було неопромінений насіннєвий матеріал. Експозиція склала 10 хвилин та 30 хвилин за кожним з варіантів опромінення. До завдань дослідження даного напрямку входило дослідження: посівних властивостей насіння у вигляді енергії проростання та схожості насіння. Схожість насіння – це його здатність давати за встановлений термін нормальні проростки за певних умов пророщування. Пророщування дослідних зразків проводили в термостаті відповідно до ДСТУ 4138-2002.

Аналізування схожості насіння дослідних зразків проводили за наступною методикою. Довільно відбирали чотири проби насіння по 50 штук у кожній у кількості 4-ри повторності. У чашку Петрі вкладали одним або кількома шарами зволожений фільтрувальний папір. Для зволоження папір занурювали у воду, виймали і давали стекти надлишку води. Насіння рівномірно розміщували на фільтрувальному папері. Умови пророщування для кукурудзи – 20–30°C. Енергію проростання визначали на четвертий день, за тією ж формулою, що і схожість. Схожість пшениці визначали на сьомий день. Зверху ростильню накривали листком фільтрувального паперу, змоченим водою і доливали ще води, щоб зволожити весь субстрат.

Підраховували кількість насінин, які проросли, а також насінини з вираженими ознаками аномалій та зігнилі. До нормальних проростків відносять такі, у яких найбільш важливі структури (корінці, сім'ядольні та надсім'ядольні коліна, брунечка, сім'ядолі, колеоптіль) добре і пропорційно розвинені, цілі, здорові, а також з незначними дефектами тих структур, що не впливають на нормальний розвиток проростка.

Схожість та енергію проростання насіння визначали за формулою:

$$C = (пН/зН) \times 100, \quad (1)$$

де С – схожість; пН – кількість нормально пророслого насіння; зН – загальна кількість насіння, взятого для аналізу.

Отримані результати під час визначення схожості насіння виражали у відсотках. Додатково вивчали довжину корінців та проростків на сьому добу експерименту.

Довжину коренів і пагонів визначали з використанням звичайної сантиметрової шкали. Дані обробляли статистично за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel.

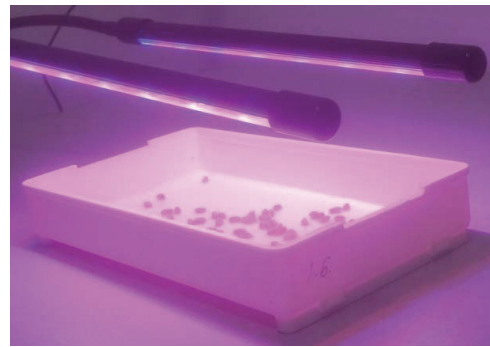
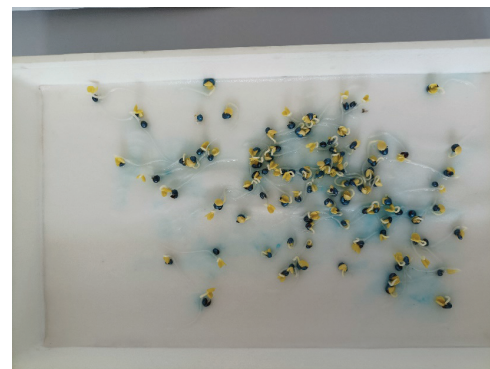
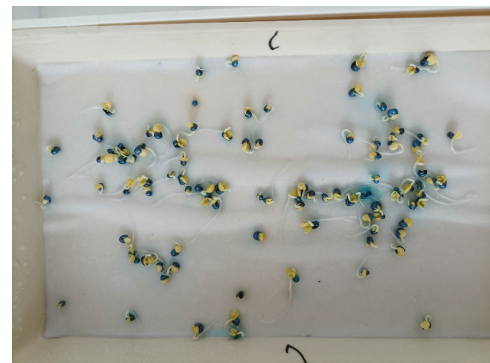


Рис. 1. Процес обробки насіння ЕМВ



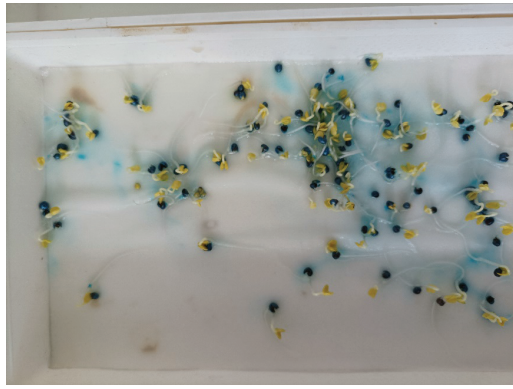
А)



Б)



В)



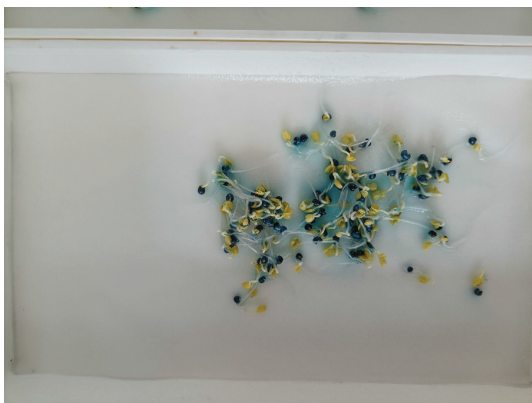
Г)



Д)



Ж)



З)

Рис. 2. Схожість (на 7 добу) насіння ріпаку



А)



Б)



В)



Г)



Д)



Ж)



З)

**Рис. 3. Визначення довжини проростків та корінців кукурудзи в залежності від обробки електромагнітним випромінюванням: А) 660 нм 10 хв; Б) 660 нм 30 хв; В) 460 нм 10 хв; Г) 460 нм 30 хв; Д) 660+460 нм 10 хв; Ж) 660+460 нм 30 хв З) контроль**

**Результати.** У випадку енергії проростання ріпаку різниця між варіантами коливалась в межах 2% і була найвищою у варіанті 660+460 нм 30 хв (таблиці 1). Це корелює з результатами дослідження лабораторної схожості, у випадку якої найвищий показник був також у варіанті 660+460 нм 30 хв і становив 98%.

Таблиця 1

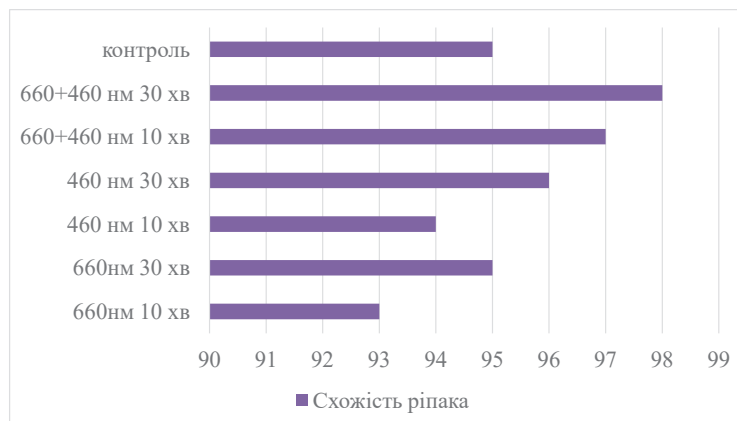
**Результати обліку показників посівної якості насіння ріпака (середні значення)**

Варіанти дослідів	Енергія проростання	Схожість	Довжина проростка	Довжина корінця
1. 660нм 10 хв	95	93	6,9	10,8
2. 660нм 30 хв	96	95	7,5	10,9
3. 460 нм 10 хв	96	94	7,7	6,1
4. 460 нм 30 хв	97	96	7,9	5,9
5. 660+460 нм 10 хв	96	97	5,1	9,9
6. 660+460 нм 30 хв	97	98	6,9	7,6
7. контроль	96	95	7,1	11,2

**Обговорення.** Відсутність 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.



**Рис. 4. Енергія проростання насіння ріпаку в залежності від різних режимів обробки насіння ЕМВ**



**Рис. 5. Лабораторна схожість насіння ріпаку в залежності від різних режимів обробки насіння ЕМВ**



**Висновки.** Можна зробити висновок, що вплив ЕМВ (червоний 660 нм + синій 40 нм діапазони) впродовж 0,5 години має вплив на перші етапи проростання, а саме – енергію та схожість в лабораторних умовах (в межах декількох відсотків). Такий вплив може мати важливе значення в умовах промислового виробництва насінневого матеріалу.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Bezpal'ko, V., Stankevych, S., & Matsyura, A. (2021). Pre-sowing treatment of winter wheat and spring barley seeds with the extremely high frequencies electromagnetic field. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(1), 62–71. [https://doi.org/10.15421/2021\\_9](https://doi.org/10.15421/2021_9)
2. Bilmez Özçınar, A. (2021). Winter Oilseed Crop Canola in the Age of Fast Changing Climate. *MAS Journal of Applied Sciences*, 6(4), 828–835. <https://doi.org/10.52520/masjaps.131>
3. Chervinskyi, L., & Romanenko, O. (2015). Elektrofizychni metody peredposivnoi obrobky nasinnia. *Tekhnika ta enerhetyka [Electrophysical methods of pre-processing seed] / Machinery & Energetics*, 0 (184) <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnika/article/view/1195> (in Ukrainian)
4. Iassonova, Diliara & Rempel, Curis. (2022). High-oleic canola oil. 10.1016/B978-0-12-822912-5.00001-0.
5. Kernasiuk, Yu. (2022, July 27). Hlobalnyi i vnutrishnii rynky ripaku. [Global and domestic rapeseed markets]. *Ahrobiznes Sohodni*. <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichniy-hektar/item/24923-hlobalnyi-i-vnutrishnii-rynky-ripaku.html> (in Ukrainian).
6. Lysyuchenko M. L., Pankova O. V. (2016) Intensyfikatsiia biokhimichnykh protsesiv u nasinni silskohospodarskykh kultur [Intensification of biochemical processes in seeds of agricultural crops]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*. 2016. № 2 (6). S. 44-47. (in Ukrainian).
7. Pankova O.V. Proteoliz ryznykh sortiv yachmeniu v zalezhnosti vid obrobky nasinnia monokhromatychnym optychnym vyprominiuvanniam chervonoho diapazonu. (2010). [Proteolysis of different sorts of barley in dependence on treatment of seeds by monochromatic optical radiation of red range of spectrum] *Fotobiologhiia Ta Fotomedytyna*, 3–4, 66–69. [http://fnjournal.univer.kharkov.ua/Ua/nomera/3\\_4\\_2010.pdf](http://fnjournal.univer.kharkov.ua/Ua/nomera/3_4_2010.pdf) (in Ukrainian)
8. Pankova, O., Puzik, V., & Lysishenko, M. (2021). Vplyv elektromahnitnoho vyprominiuvannia na roslyny. [The influence of electromagnetic radiation on plants] *TOV «Planeta-Print»*, Kharkiv, 159. [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)
9. Safaei, Amir & Rouzbhan, Yousef & Aghaalikhani, Majid. (2022). Canola as a potential forage. *Translational Animal Science*. 6. 10.1093/tas/txac100.
10. Semenov, Anatoliy & Kozhushko, Gregory & Sakhno, Tamara. (2019). Influence of UV radiation in pre-sowing treatment of seeds of crops. *Technology audit and production reserves*. 1. 30-32. 10.15587/2312-8372.2019.159954.
11. Slobodianyk, Halyna & Zhilyak, Ivan & Mostoviyak, Ivan & Shchetyna, Serhii & Zabolotnyi, Oleksandr. (2022). Effectiveness of Different Groups of Preparations for Pre-Sowing Treatment of Winter Wheat Seeds. *Scientific Horizons*. 25. 10.48077/scihor.25(9).2022.53-63.
12. So, K.K.Y.; Duncan, R.W. Breeding Canola (*Brassica napus* L.) for Protein in Feed and Food. *Plants* 2021, 10, 2220. <https://doi.org/10.3390/plants10102220>
13. Su, Jun & Liu, Bobin & Liao, Jiakai & Yang, Zhaohe & Lin, Chentao & Oka, Yoshito. (2017). Coordination of Cryptochrome and Phytochrome Signals in the Regulation of Plant Light Responses. *Agronomy*. 7. 25. 10.3390/agronomy7010025.
14. Taranov, M & Kazakova, A & Gulyaev, P & Ukraintsev, M & Tatarintsev, A. (2021). Improving the efficiency of pre-sowing treatment of winter wheat seeds with low power coherent optical radiation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 659. 012019. 10.1088/1755-1315/659/1/012019.
15. Wang, Qin & Liu, Qing & Wang, Xu & Zuo, Zecheng & Oka, Yoshito & Lin, Chentao. (2017). New insights into the mechanisms of phytochrome–cryptochrome coaction. *New Phytologist*. 217. 10.1111/nph.14886.
16. Pankova, O. V., Sirovitskiy, K. G., Kharchenko, S. O., Onychko, V. I., Tarelnyk, V. B., & Dumanchuk, M. Y. (2022). Corn seed preparation by electromagnetic radiation in different modes as a way of yield increase. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, (2(48)), 50-55. <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.7>.

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

**Sirovitskiy 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, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Sowing quality of canola seeds depending on treatment with electromagnetic radiation of different modes as an environmentally way of increase yield**

The article analyzes the impact of electromagnetic radiation (EMR) in the red (660 nm), blue (460 nm) ranges, and combined exposure, with exposure of 10 and 30 minutes for each variant of rapeseed irradiation. The Grow Light 2 Full Spectrum LED plant lamp, which was used in experiments, has a large lighting area, is flexible and has 3 separate heads, which allows you to increase the lighting angle several times. Thanks to the flexibility of each individual lamp head, it was



possible to choose and adjust the lighting angle. Such a lamp can achieve 360° illumination. One of the most important features of the lamp is the individual irradiation mode. For the experiments, rapeseed was chosen as one of the most widespread crops in the territory of Ukraine. Rape is an economically important allotetraploid oil crop. Traditionally, rape is one of the most marginal and export-oriented agricultural crops. Unirradiated seeds were used as a control. The energy of germination and laboratory germination and additionally the length of roots and seedlings were studied. The obtained results showed that the most significant effect on the energy of germination and laboratory germination had a variant of the combined action of both the red and blue ranges for 30 minutes. It is this mode of processing in laboratory conditions that shows the possibilities of activating the biopotential of seeds. 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 exposure to EMF has a prolonged effect and may manifest itself later.

For rape, the difference with the control ranged within 2%. The revealed fact can be explained by the peculiarities of biochemical processes, in particular their speed, which requires further study.

In general, the increase in laboratory similarity to the germination energy of canola seeds, which is insignificant in laboratory conditions, but can have a significant effect in the conditions of field studies, taking into account weather conditions and other factors of cultivation. No regularity of changes in the indicators of the length of roots and seedlings was found in all variants of the experiment, which may indicate the insensitivity of this indicator to EMV treatment.

**Key words:** electromagnetic radiation, wavelength, phytochrome, rapeseed, biopotential, seed treatment, productivity, agricultural technologies.

## ОБРОБЛЕННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ ГІДРО-ПРЕСОВОГО ТА ГІРНИЧОРУДНОГО ОБЛАДНАННЯ

**Пушовський Євген Степанович**

доктор технічних наук  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна  
ORCID: 0000-0001-7843-0922  
puhovskije50@gmail.com

**Приходько Василь Петрович**

кандидат технічних наук  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна  
ORCID: 0000-0003-1852-3777  
privas0718@gmail.com

**Гладський Максим Миколайович**

кандидат технічних наук  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна  
ORCID: 0000-0002-4547-7131  
gladsky@gmail.com

Сучасне важке машинобудування характеризується значною часткою дрібносерійних і одиничних форм виробництва. Машини, вироблені для металургійної, енергетичної, гірничодобувної, хімічної промисловості, характеризуються високою металомісткістю і високою трудомісткістю їх виготовлення. Для виготовлення великогабаритних деталей використовується або універсальне обладнання та оснащення, або створюються технологічні комплекси, засновані на використанні унікального обладнання, великих приладів і провідників, а в деяких випадках – оригінальних інструментів (*Mechanichna obrobka velikogabaritnikh detalei zi znospsstiykimi naplavochnimi materialami. (2015)*). При складанні таких вузлів і верстатів широко використовується фітінговий спосіб. У зв'язку зі специфічними особливостями оброблення важких і великогабаритних деталей і низькою серійністю їх виробництва, при розробці технології неможливо механічно впроваджувати прогресивні методи і способи оброблення, а також організації роботи, що широко застосовуються в великомасштабному і масовому виробництві галузей, не пов'язаних з важким машинобудуванням. При обробленні цих деталей часто виникає необхідність в оригінальних технічних рішеннях (Khruvskiy A.A., Slatvinskiy N.N., Chumak U.I. (2016), Stefaniv B.V. (2020)).

Основними завданнями при обробленні важких і великогабаритних деталей є: досягнення необхідної геометрії точності, шорсткості поверхні і фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Чистові та оздоблювальні операції, в процесі яких формуються фізико-механічні властивості поверхневого шару масивних деталей, а отже, і їх експлуатаційні якості, засновані на різанні матеріалів, в тому числі наплавлених при ремонті зносостійких покриттів (Mazin F., Bhaskaran G., Sabin V., (2023); Xinfeng Liu, Riliang Liu, Jaming Feng, (2023)).

Оброблення великогабаритних деталей дуже трудомістке, пов'язане з великою витратою часу. Тому одним з основних питань, які доводиться вирішувати в важкому машинобудуванні, є підвищення продуктивності оброблення в результаті застосування передових технологічних рішень, подальше збільшення виробничого оснащення, його спеціалізації, механізації та часткової автоматизації (Dobrianskiy S.S., Malafeev U.M., Pukhovskiy E.S. (2014); Pukhovskiy E.S. (2021)).

Значним резервом підвищення продуктивності праці у важкому машинобудуванні є раціональна організація виробництва великогабаритних деталей, заснована на використанні групових технологічних процесів, типізації процесів, нормалізації обладнання та інструментів, централізації технологічної підготовки виробництва, впровадженні науково-технічних досягнень (Kirilovich V.A., Melnichuk P.P., Yanovskiy V.A. (2017); *Mechanichna obrobka velikogabaritnikh detalei, (2015)*).

Гірничорудна та металургійна промисловість є найбільш експортно орієнтовані галузі в нашій країні. Тому надзвичайно актуальна проблема забезпечення цих виробництв сучасним обладнанням, що виготовляється на заводах важкого машинобудування (Tokarno-karuselniy verstat Hwacheon HVT-2025M, (2021); *Mechanichna obrobka velikogabaritnikh detalei, (2015)*). Значним резервом підвищення довговічності роботи великогабаритних деталей є відновлення їх робочих поверхонь після роботи у надскладних умовах гірничорудної промисловості. Велика матеріалоемісність таких деталей обумовлює необхідність повернення поверхонь тертя до початкових показників за рахунок нанесення різних зносостійких матеріалів. При цьому майже завжди характеристики робочих поверхонь перевищують показники нових деталей. Це дозволяє значно зменшити капітальні затрати на обладнання та поліпшити експлуатаційні характеристики відновлених деталей. В останній час проводиться багато дослі-

джен в цій царині, які дозволяють впроваджувати у виробництво способи нанесення зносостійких покриттів, та технології їх обробки для забезпечення високих показників при роботі гірничого та гідро пресового обладнання (Khurtskiy A.A., Slatvinskiy N.N., Chumak U.I. (2016); *Mechanichna obrobka velikogabaritnikh detalei*, (2015); Mazin F., Bhaskaran G., Sabin V. (2023); Olt J., Krasny V., Maksarov V. (2019); Xinfeng Liu, Riliang Liu, Jaming Feng, (2023)).

**Мета роботи.** Підвищення ефективності обробки великогабаритних деталей гірничорудного та гідро пресового обладнання на основі оптимальних технологічних процесів та сучасного верстатного обладнання.

**Ключові слова:** великогабаритні деталі, механічна обробка, гірничорудне обладнання, гідро пресове обладнання, станина, архітавр, корпус.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.11>

**Викладення основного матеріалу.** Корпусні деталі гідро пресового обладнання (станини, траверси та архітаври) сприймають основні навантаження, що виникають у процесі роботи машини. За своїм конструктивним виконанням в межах одного і того ж преса вони дуже схожі. Загальними технологічними завданнями під час їх оброблення є: отримання однакових міжосьових відстаней отворів під колони, забезпечення паралельності та одно площинності основних торцевих поверхонь, отримання перпендикулярності осей отворів під циліндри та колони до основних торцевих поверхонь.

Корпусні деталі гідро пресового обладнання виконуються цільно-литими, зварними, зварено-литими, складеними та збірно-листовими. Цілісно литі конструкції мають меншу масу і менш трудомісткі при обробленні та складанні, ніж складені, тому вони застосовуються у всіх випадках, коли можливості ливарних цехів дозволяють відлити, а механічних – обробити заготовку.

До станин, траверсів і архітаврів пресів пред'являються високі технічні вимоги, обумовлені великою відповідальністю цих деталей у процесі експлуатації у заготовках не допускається наявність тріщин, пухкостей, пор та усадкових раковин; допустима не площинність нижньої основи архітавра та траверси, а також верху станини не більше 0,1 мм на довжині 1000 мм у всіх напрямках; непаралельність торців отворів під колони та циліндри до площини нижньої основи архітавра або траверси та верху станини допускається в межах 0,1 мм на довжині 1000 мм; допустима не перпендикулярність

осей отворів під колони та циліндри до площин нижньої основи архітавра та траверси, а також верху станини 0,1 мм на довжині 1000 мм; непаралельність осей отворів під колони та циліндри допускається не більше 0,1 мм на довжині 1000 мм; допустима не співвісність посадкових поясків отворів під колони та циліндри 0,1 мм; відхилення міжосьових розмірів отворів під колони допускається в межах від  $\pm 0,5$  до  $\pm 1,5$  мм, а по діагоналях – від  $\pm 0,7$  до  $\pm 2$  мм; допустима не перпендикулярність стикових площин для приєднання столу до верхньої основи станини 0,1 мм на довжині 1000 мм.

Станини, траверси та архітаври можна обробляти за кількома технологічними схемами. Найчастіше застосовується схема, коли оброблення торцевих базових поверхонь проводиться на поздовжньо-стругальному або поздовжньо-фрезерному верстаті з подальшим розточуванням всіх отворів на верстаті.

Коли центральний отвір має порівняно великі розміри і його важко обробити на верстаті, спочатку обробляють базові площини на поздовжньо-фрезерному або поздовжньо-стругальному верстаті, потім розточують центральний отвір на карусельному верстаті, а решта – на розточувальному верстаті. У цьому випадку можна також обробити торцеві базові поверхні та центральний отвір на карусельному верстаті, а потім усі інші отвори – на розточувальному. При цьому необхідно, щоб габаритні розміри та маса деталей, що оброблялися, відповідали параметрам карусельних верстатів. Якщо габаритні розміри деталей занадто великі і на наявних карусельних,

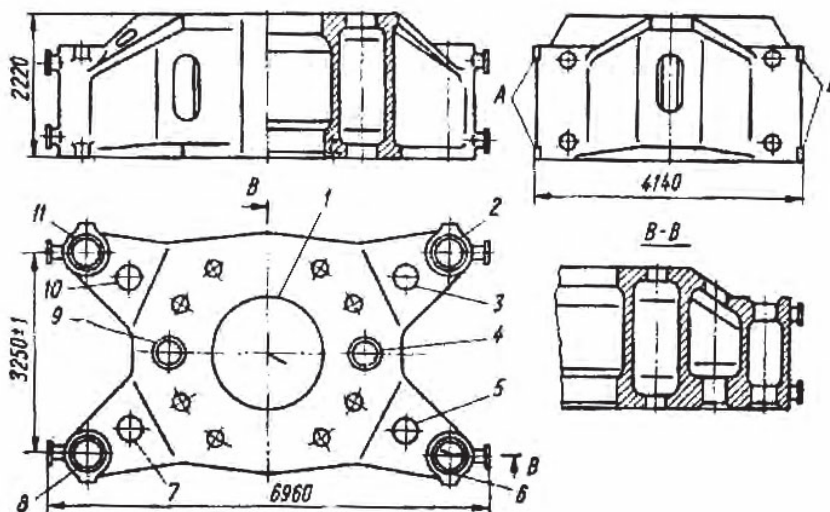


Рис. 1. Архітавр гідропресу

поздовжньо-стругальних і поздовжньо-фрезерних верстатах їх обробити неможливо, то для цього використовують розточувальні верстати.

На рис. 1 представлено креслення архітавра преса зусиллям 39,2 МН. Технологічний маршрут його оброблення складається з наступних операцій:

**Розмітка.** На цій операції наносять осьові лінії, перевіряють величину припусків і розмічають під оброблення верх, основу та бічні бази А і Б.

**Стругання.** На поздовжньо-стругальному верстаті стругають верх і основу А з одного ходу бокового супорта. Після переустановки та вивіряння деталі стругають основу та базу Б з одного ходу бокового супорта.

**Розмітка.** Відновлюють осьові лінії та розмічають під розточування отвори 1-11.

**Розточування.** На верстаті колонкового типу розточують отвори 1-11 за допомогою борштанги.

**Розмітка.** Розмічають отвори під свердління (на верстатах з ЧПУ розмітка отворів закладена в програмі обробки).

**Свердління.** На радіально-свердлильному верстаті свердлять отвори та нарізають на них нарізі М64.

**Слюсарне оброблення.** Зачищають задирки та гострі кромки після стругання та свердління.

**Контроль.** Виконують остаточний контроль на підставі операційного контролю та зовнішнього огляду.

Зазвичай операція розмітки станин, траверс та архітаврів проводиться з однієї установки. Деталь встановлюється довгою бічною стороною на розмічальній плиті. При розмітці за основу приймаються зовнішні необроблені поверхні станин, траверс і архітаврів.

Найбільш поширеним способом оброблення торцевих поверхонь є стругання їх на поздовжньо-стругальному верстаті. При встановленні на верстаті деталь розташовують таким чином, щоб навантаження на стіл було рівномірним. Спочатку стругання ведеться за розміткою, подальше встановлення та вивіряння деталей здійснюються з використанням раніше оброблених поверхонь. Для забезпечення одно площинності та паралельності поверхонь при чистовому струганні застосовують твердосплавні різці марки Т5К10 з розворотом різальної кромки під кутом 45...65°.

Технологічні бази, що використовуються на розточувальних операціях, обробляються одночасно зі струганням торцевих поверхонь. Ці бази передбачаються креслеником у вигляді припливів на бічних поверхнях станин, траверс і архітаврів. Їх стругають начисто бічними супортами з однієї установки різця і ходу супорта для забезпечення їх одно площинності.

Найвідповідальнішою є операція розточування отворів під циліндри, колони, плунжери та тяги. Деталі встановлюються на розточувальних верстатах на простругані базові майданчики, причому основна торцева базова сторона має бути звернена до шпинделя. Базова площина деталі повинна розташовуватися паралельно ходу колони верстата у вертикальній площині. Деталь кріпиться у місцях опор болтами, накладними скобами та гайками.

Отвори в станинах, траверсах і архітаврах можна розточувати інструментом, закріпленим на шпинделі,

з однієї установки деталі, з переустановкою деталі, поворотом деталі на поворотному столі, а також із застосуванням борштанги з однієї установки деталі. Вибір того чи іншого способу розточування залежить від розмірів і маси деталей, що обробляються, діаметра шпинделя, його вильоту і оснащеності розточувального верстата спеціальними пристроями.

Спочатку отвори розточують начорно по розмітці з припуском до 10 мм на діаметр. Після додаткової перевірки точності установки деталі розточують начисто центральний отвір, потім – всі інші отвори.

При обробленні отворів діаметром до 250 мм та значної довжини застосовується принцип глибокого свердління із зовнішнім відведенням стружки. При цьому отвір заздалегідь засвердлюється звичайним спіральним свердлом і розточується оправкою для направлення головки глибокого свердління.

Виготовлення складових станин, траверс та архітаврів пов'язане зі значними труднощами, зумовленими додатковим обробленням стикових поверхонь, отворів кріплення та виготовленням кріплення. Після роздільного оброблення окремих частин необхідно забезпечити збирання деталей та необхідну кінцеву точність їх виготовлення.

Більше доцільно застосування складових станин, траверс і архітаврів, деталі яких не потребують додаткового оброблення після збирання. Це складові деталі великих горизонтальних пресів (передня, рухома і задня траверси), окремі деталі великих вертикальних пресів (станини, архітаври, рухомі траверси), які не мають на площині роз'ємів великих посадкових отворів, що розточуються у зібраному вигляді.

Існують станини та архітаври, що складаються з двох або декількох частин, лінія роз'єму яких проходить по осі отворів циліндрів. У цьому випадку верстатне оброблення пов'язана безпосередньо зі слюсарно-складальною роботою, так як у більшості випадків маса складеної складової деталі перевищує вантажопідйомність мостових кранів, тому складання проводиться на плитних настилах верстатів у вихідному положенні для оброблення. При цьому потрібно прагнути до того, щоб усі поверхні, що підлягають спільному обробленню, були виконані за одну установку, бо кожне нове перевстановлення пов'язане з розбиранням та новим складанням складових деталей.

Базові деталі машин гірничорудної промисловості та обладнання механічного кріплення шахт, що мають значні габаритні розміри та масу, відрізняються досить складною технологією виготовлення. Прикладом можуть бути станини конусних дробарок для дроблення руд чорних і кольорових металів, а також інших матеріалів. Станини дробарок великого дроблення виконуються збірними, а дрібного та середнього – цільнолитими.

На рис. 2 показана станина конусної дробарки 2100, відлита зі сталі 35Л. Маса деталі 15 т.

До виливки та механічного оброблення станини пред'являються такі технічні вимоги: поверхні виливки, що не потребують механічного оброблення, можуть мати дрібні дефекти у вигляді земляних або газових раковин



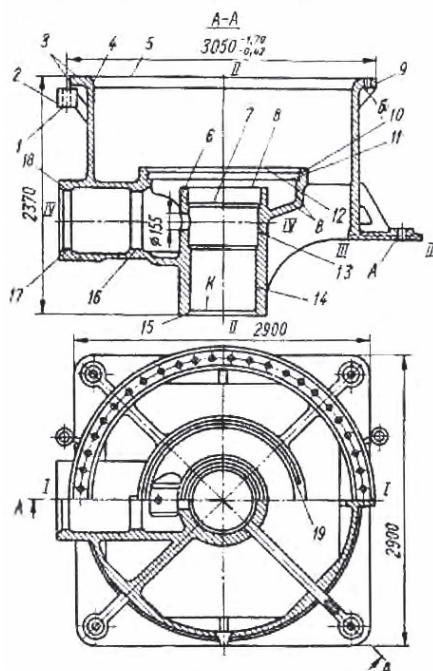


Рис. 2. Станина конусної дробарки 2100 для середнього дроблення

глибиною не більше 5 мм; між шаблоном, що спирається на верхню поверхню фланця, та внутрішньою конічною поверхнею допускається зазор до 0,05 мм; допустимий ексцентриситет конусної поверхні 4 та циліндричних поверхонь 10, 13 та 14 щодо осі симетрії не більше 0,1 мм; допустима непаралельність між поверхнею К і горизонтальною поверхнею верхнього фланця не більше 0,2 мм; не перпендикулярність поверхні До вертикальній осі розточеної поверхні отвору 13 по довжині 750 мм не повинна перевищувати 0,1 мм; непаралельність горизонтальної осі розточених поверхонь 16 і 17 отворів щодо поверхні До на довжині 1000 мм не повинна перевищувати 0,3 мм; допустиме розбіжність осей отворів 13 і 14 трохи більше 0,3 мм.

Технічні умови та конструктивні особливості станини обумовлюють наступний порядок її оброблення: розмітка заготовки, послідовне оброблення циліндричних поверхонь, концентричних до осі II-II та пов'язаних з ними торцевих поверхонь, циліндричних та торцевих поверхонь, розташованих на осі IV-IV, перпендикулярної до осі II-II, шпонкового паза 19, оброблення отворів та нарізування нарізей.

На станині розмічаються центри отворів під розточування, наносяться координуючі осі I-I, II-II, III-III, IV-IV, перевіряються вертикальність поверхонь А, Б та припуски на механічне оброблення.

Механічне оброблення станини може проводитись за двома варіантами. За першим варіантом із двох установок деталі на карусельному верстаті обробляються торці та отвори, концентрично розташовані щодо осі II-II.

На першій установці станина поверхнею А (рис. 2) встановлюється на призми та закріплюється на планшайбі планками та болтами. Обробляється поверхню 9, підрізаються торці 1, 2, 5, 8 і 12, розточуються отвори 6, 10, 13, 14, підрізаються торці 7, 11, обробляються кону-

сні поверхні 3, 4 і проточується поверхня В масляної ванни. Розміри контролюються індикаторними скобами та шаблонами.

На другій установці станина встановлюється обробленим торцем 5 на планшайбу та закріплюється у кулачках. Підрізається розмір торця 15 і на ньому проточуються ущільнювальні канавки. Розточування отворів діаметром 155 мм та отворів 16, 17 під корпус приводу виконується на верстаті колонкового типу з діаметром шпинделя 180 мм. Станина ставиться на плиту розточувального верстата торцем фланця 5. Після вивірки шпиндель встановлюється для оброблення отвору діаметром 155 мм, отворів 16 і 17 та торця 18.

Для фрезерування паза 19 станину встановлюють на торець 18 і фланець розміром 2900 × 2900 мм. Паз фрезерують за розміткою. Глибина паза контролюється шаблоном, базою для якого служить поверхня 10. Отвори, розташовані на торцях 15 і 18, свердлять по кондукторам, а всі інші – по розмітці.

За другим варіантом оброблення станини починається з розточувальної операції, а потім проводиться оброблення на карусельному верстаті. Трудомісткість оброблення за цим варіантом на 47% більше трудомісткості за першим варіантом, тому другий варіант використовують лише за відсутності карусельних верстатів необхідних розмірів. Підвищення ефективності обробки таких деталей можливе при застосуванні сучасних верстатів з ЧПК, адже при цьому відпадає необхідність в операціях розмітки, які займають ліву частку допоміжного часу.

Прикладом таких верстатів можуть служити токарно-карусельні верстати Hwacheon, один з яких показаний на рис. 3. Серія HVT з нерухою траверсою, спроектована для токарної обробки точних деталей. Під час обробки головний рух різанням здійснюється першим



**Рис. 3. Токарно-карусельний верстат з ЧПУ з нерухомою траверсою Hwacheon HVT-6080**

**а. Траверси з двома супортами**

**б. Гідростатичний підшипник**

**в. Планшайба з чотирма незалежними кулачками**

супортом, при цьому другий супорт може бути застосований для зменшення часу обробки як в ручному режимі, так і в автоматичному. Низька собівартість деталі досягається синхронною обробкою двома токарними супортами верстата серії HVT.

Таблиця 1

**Характеристики верстата Hwacheon HVT-6080**

<b>Діаметр планшайби</b>	<b>6000 мм</b>
Максимальний діаметр над станиною	8000 мм
Максимальний діаметр точіння	8000 мм
Максимальна висота різання	1100 мм
Швидкість обертання стола (об/хв)	0,5-40
Максимальна вага заготовки	100000 кг
Переміщення по осі X	4500 мм
Переміщення по осі Z	1000 мм
Потужність двигуна стола	192 кВт
Висота	12500 мм
Довжина x Ширина	14530 x 12600 мм
Вага верстату	250000 кг
Тип ЧПУ	Siemens-840Dsl

При видобутку корисних копалин відкритим способом широко використовуються крокуючі та гусеничні екскаватори. Базові деталі екскаваторів являють собою великі зварні вузли, що складаються з прокату і сталевих лиття. Остаточне оброблення литих деталей викону-

ють до зварювання, у результаті цього різко знижується питома вага механічного оброблення під час виготовлення базових деталей екскаваторів, відпадає необхідність застосування унікальних верстатів. Оскільки обсяг випуску екскаваторів збільшується, доцільно замінити унікальне обладнання на стендове оброблення з використанням відносно невеликих розточувальних та агрегатних верстатів.

Прикладом зварної конструкції коробчатого перерізу може бути стріла екскаватора ЕКГ-4,6А (рис. 4). Вона складається з власне стріли I, п'яти II, привареної до нижньої частини стріли і являє собою сталевий вилівок з двома опорними вушками. На стрілі середньої частини приварюється сталева плита напірного механізму IV, на який встановлюється кожух III. Маса стріли після оброблення складає 8630 кг. При механічному обробленні стріли повинні виконуватися такі технічні умови: непаралельність та перекіс осі отвору діаметром 260H8 та 270H8 не більше 0,2 мм на довжині 882<sup>+0,3</sup> мм; непаралельність та перекіс осі отвору діаметром 190H7 щодо осі отвору діаметром 260H8 не більше 2 мм на довжині 1000 мм. Стріла обробляється у дві стадії. На першій стадії обробляються елементи стріли під зварювання, на другій – проводиться оброблення після зварювання. Перед зварюванням обробляють п'яту та плиту напірного механізму. П'ята обробляється остаточно з розточуванням отвору в вухах діаметром 110 мм.

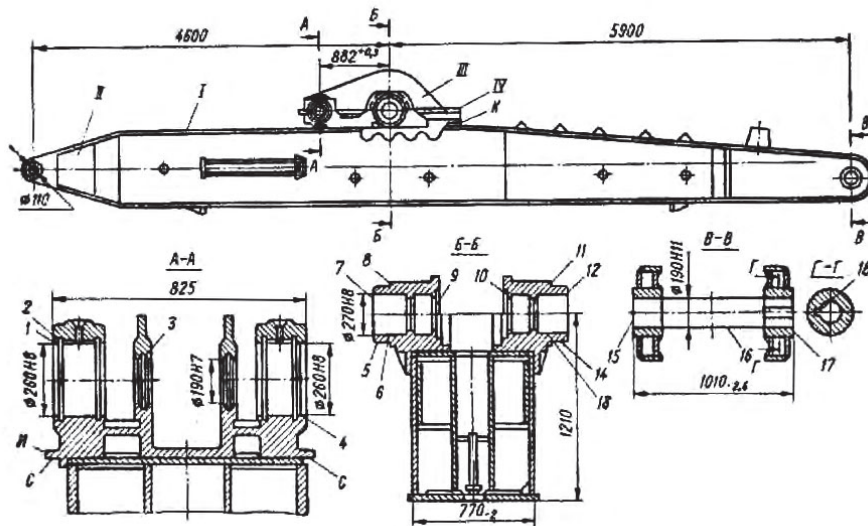


Рис. 4. Стріла екскаватора ЕКГ-4.6А

У плити напірного механізму розмір обробляють підшву і поверхні *С, И, К*, які є базовими при установці стріли на розточувальні операції, а також площини роз'єму під кришки підшипників і кожух масляної ванни, свердлять отвори і нарізають нарізи під шпильки для кріплення кришок підшипників і болтового кріплення кожуха. Потім виконують складання з кришками, розточують отвори з припуском 5 мм на бік під підшипники і підрізають їх зовнішні торці з припуском 5 мм на кожний торець.

На другій стадії після зварювання та відпалу стріли розточують начисто систему паралельних отворів для механізмів стріли. Ця операція виконується на спеціальному стенді (рис. 5), змонтованому на настіль і що складається з правої та лівої стійок 2, на яких розташовані підшипники 10 для установки борштанг, розташовані на валу 9, двох упорів 6, гвинтів затискних 5 і 7, кронштейна 8, упору 2 установки та двох упорів 1.

Оброблення ведеться двома розточувальними верстатами 3 і 4, що мають діаметри шпинделів відповідно 110 і 125 мм. При обробленні стріла встановлюється поверхнями *С* (рис. 5) на базові поверхні упорів 1, 6, потім гвинтами 7 притискається поверхнею *К* до упору 9, а гвинтом 5 – поверхнею *И* до упорів 6 і 1.

Отвори 1, 4, 6, 13 та канавку 2 (рис. 5) розточують верстатом з діаметром шпинделя 125 мм. Тут же підрізають їх торці 7, 9, 10, 12 і обточують поверхні 5, 8, 11, 14. Потім на площину роз'єму рами опорного механізму встановлюється і зміцнюється кожух *III* і розточуються 3 поверхні ущільнювальних канавок.

Другим розточувальним верстатом з діаметром шпинделя 110 мм розточують отвір 16 під вісь головних блоків, підрізають торці 15, 17 і знімають фаски, на поверхні 18 свердлять отвори діаметром 32 мм на довжину 150 мм по кондуктору 1, який встановлюється в отвір діаметром 190Н11.

Найбільшою деталлю механізованого шахтного кріплення, в якому монтується гідравлічні стійки домкрата, є основа секції (рис. 6). В якості заготовки для неї

використовується сталеве лиття прямокутної форми розмірами 600×1600×270 мм. Маса деталі 360 кг.

Першою операцією є фрезерування базової поверхні деталі, встановленої та закріпленої у спеціальному пристрої на поздовжньо-фрезерному верстаті моделі 6632 при швидкості різання 120 м/хв, подачі 0,8 мм/об. Поштучний час на оброблення становить 2,2 хв.

На чотири шпindelному двосторонньому розточувальному верстаті розточують два отвори діаметром 130Н8 під циліндри домкрата. На верстаті встановлюють дві деталі та обробляють чотири отвори одночасно трирядними блоками. Швидкість різання 60 м/хв, подача 0,4 мм/об, поштучний час 2,3 хв.

Свердління восьми отворів діаметром 26 мм під кріплення верстатів проводиться на восьми шпindelному верстаті МЗАЛ при швидкості різання 30 м/хв, подачі 0,3 мм/об, поштучному часі 1,8 хв. Інші отвори свердлять на радіально-свердильних верстатах 2А55, оснащених кантувачами для повороту деталі на 90°.

До великогабаритних деталей гірничорудного обладнання відносяться корпуси врубових машин, що сприймають значні динамічні навантаження. Їх виготовляють переважно із сталевого лиття.

При обробленні корпусів врубових машин необхідно дотримуватись прямолінійності базуючих поверхонь, перпендикулярності осей отворів до торцевих поверхонь, забезпечувати точність і співвісність отворів, а також їх правильне розташування в корпусі. На рис. 7 показаний корпус різальної частини врубової машини. Маса корпусу після оброблення 345 кг.

На поздовжньо-стругальному верстаті обробляють площини 1 одночасно у п'яти заготовках. Заготовки базують на необроблених поверхнях *А, Б* і закріплюють на столі верстата. Потім деталь поверхнями *А* і *Б* встановлюють на вертикально-фрезерному верстаті, де торцевою фрезою обробляють площини бобишки 5.

На наступній операції готують технологічну базу для подальшого оброблення, свердлять, зенкерують і роз-

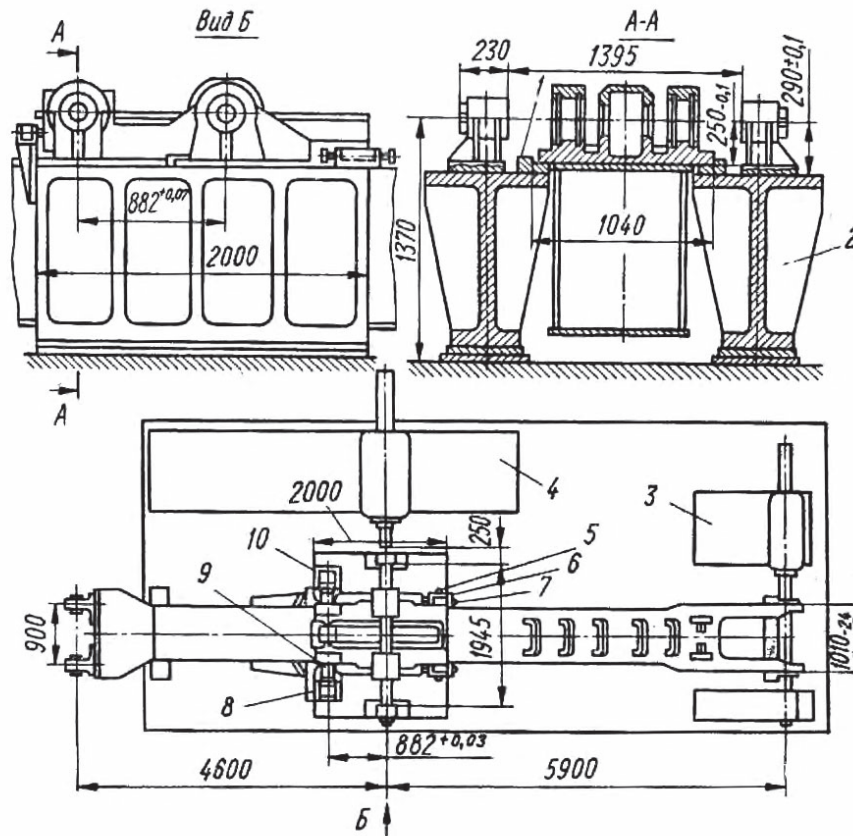


Рис. 5. Стендове оброблення стріли екскаватора ЕКГ-4,6А

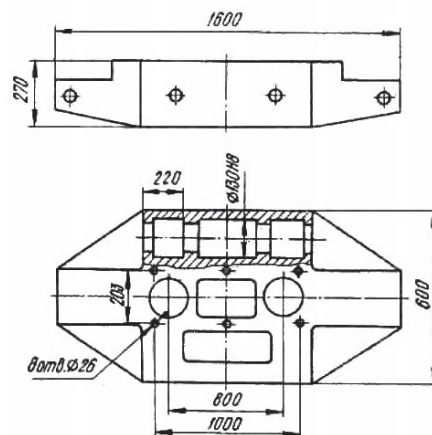


Рис. 6. Ескіз основи секції механізованого кріплення

гортають два отвори 3 на радіально-свердлильному верстаті. Тут же при базуванні деталі з обробленої площини 1 свердлять решту отворів і нарізають у них нарізи.

Далі деталь встановлюють на два отвори 3 з опорою на площину 1 на столі поздовжньо-стругального верстата і стругають площини 4, 6, 7 одночасно на п'яти заготовках.

При постійному базуванні попередньо розточують одночасно два отвори 9, послідовно чотири отвори 8 та два отвори 10 на горизонтально-розточувальному верстаті за допомогою кондуктора.

Із застосуванням спеціального пристрою розточують отвір 2 начорно, а потім начисто, остаточно розточують отвори 9, 8 і 10.



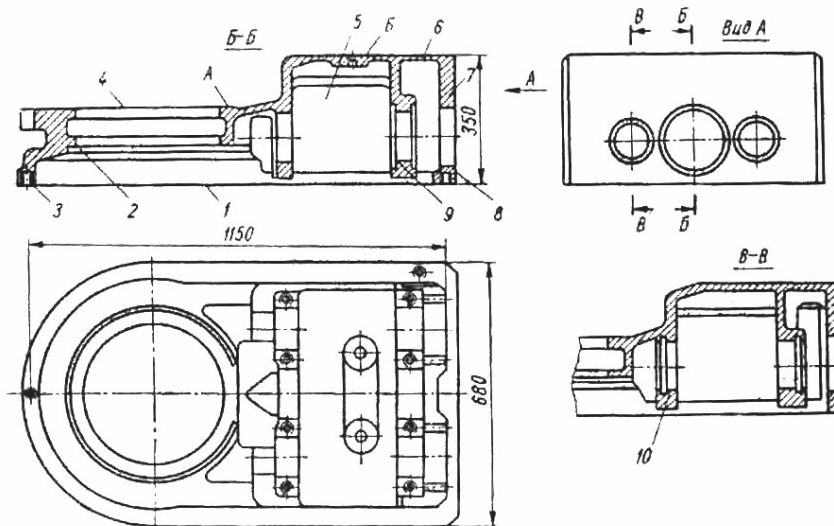


Рис. 7. Корпус різальної частини врубкової машини

При обробленні корпусу різальної частини врубкової машини передбачається незмінність базування на всіх основних операціях, що дозволяє виключити операцію розмітки і значно знизити між операційні припуски на оброблення.

Велика матеріалоемність деталей гідро пресового та гірничорудного обладнання зумовило проблему відновлення робочих поверхонь великогабаритних корпусних деталей. Головною причиною значних затрат на ремонт та технічне обслуговування технологічного обладнання гірничорудних підприємств є його інтенсивний знос внаслідок роботи в агресивних середовищах, а відновлення деталей застосовується в основному при відсутності запасних частин. Метод відновлення повинен забезпечувати повноцінність деталі в умовах експлуатації та бути економічно доцільним. Найбільш поширеним методом відновлення поверхонь є плазмове та газове напалення, яке має кілька модифікацій: електроіскрове нанесення покриттів, фінішне плазмове зміцнення, плазмодугове напалення, газо полум'яне напалення, детонаційно-газовий метод напалення, електроіскрове легування та інші. В процесі переносу матеріалу електроду на оброблювану поверхню формується два шара:

внутрішній дифузійний шар глибиною 50 мкм та зовнішній шар товщиною 20 мкм, який складається з матеріалу електроду. При плазмодуговому напаленні порошковими та дровими матеріалами проходить кристалізація матеріалу під впливом плазмової дуги плазмотрону. В якості плазми утворюючого газу використовується аргон, водень, гелій та азот. Для напалення може бути використаний будь який порошковий матеріал.

Напалені поверхні зазвичай оброблюються на металорізальних верстатах методами різання. При цьому досягаються необхідні точність та шорсткість, а поверхні деталей відрізняються підвищеними параметрами якості з точки зору зносостійкості.

**Висновки.** Розглянуто технологічні процеси виготовлення великогабаритних деталей гідро пресового та гірничорудного обладнання. Приведені умови базування деталей, припуски на обробку, режими різання, пристосування, інструмент та верстати з ЧПК. Відзначена важливість застосування прогресивних методів відновлення робочих поверхонь корпусних деталей та їх подальшої механічної обробки з метою підвищення довговічності роботи унікальних машин та механізмів гірничорудної промисловості.

#### Бібліографічні посилання:

1. Tokarno-karuselnyy verstat Hwacheon HVT-2025M – URL:(2021) [Lathe – carousel machine Hwacheon HVT-2025M], URL: [https://www.ltd.ro/assets/150129-hvt-2025m\(t\)-\(en\).pdf](https://www.ltd.ro/assets/150129-hvt-2025m(t)-(en).pdf). (in Ukrainian).
2. Dobrianskiy S.S., Malafeev U.M., Pukhovskiy E.S. (2014), Proektuvannia i virobnitstvo zagotovok. [Design and production of blanks]. – NTUU(KPI), -354 s. (in Ukrainian).
3. Khrutskiy A.A., Slatvinskiy N.N., Chumak U.I. (2016), Progresivni metodi vidnovlennia detalei girnichikh mashin. [Progressive methods of restoration of parts of mining machines]. Kramatorsk, Girnichiy visnik, vip.101. (in Ukrainian).
4. Kirilovich V.A., Melnichuk P.P., Yanovskiy V.A. (2017), Osnovi tekhnologii obrobki poverkhon detalei mashin. [Basics of surface treatment technology of machine parts]. Zhitomir, vid. O.O. Evenok. – 216 s. (in Ukrainian).
5. Mazin F., Bhaskaran G., Sabin V., (2023), Determination of cost-effective range in surface finish for single pass turning. DOI: 101504/UMR.2023.10052034.
6. Mechanichna obrobka velikogabaritnikh detalei zi znosostyikimi naplavochnimi materialami. (2015), [Mechanical processing of large parts with wear – resistant materials] : monographiia / F.V. Novikov, V.O. Andilalhai, I.E. Ivanov F. V. – Kharkiv: KHEU, im. S. Kuznetzia, – 312 s. (in Ukrainian).
7. Olt J., Krasny V., Maksarov V., (2019), Study of bearing units wear resistance of engines career dump trucks , working in fretting corrosion conditions. Journal of mining Institut, 235 (1), 70-77.

8. Pukhovskiy E.S. (2021) *Progresivni protzesi obrobki materialiv. (elektronniy resurs)*, [Progressive processes of materials processing], ( 1 fail 8,38 MB), Kiyv, NTUU (KPI) im. I. Sikorsogo, – 132 c., <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41197> . (in Ukrainian).

9. Stefaniv B.V. (2020). *Osoblivosti vsdnovlennia robochikh organiv burovikh dolit*. [Peculiarities of restoration of working bodies of drilling holes] *Avtomatichne zvaruvannia* . – N6, – s. 45-47. (in Ukrainian).

10. Xinfeng Liu, Riliang Liu, Jaming Feng, *Cutting force modeling for peripheral milling with a disk cutter considering instantaneously – engaged area.*(2023), DOI: 101504/UMR.2023.10052034.

**Pukhovskiy E. S.**, Doctor of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

**Prykhodko V. P.**, Candidate of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

**Gladsky M. M.**, Candidate of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

### **Processing of large-sized parts of hydro pressing and mining equipment**

Modern heavy engineering is characterized by a significant proportion of small-scale and single forms of production. Machines produced for the metallurgical, energy, mining, chemical industries are characterized by high metal consumption and high labor intensity of their manufacture. For the manufacture of large-sized parts, either universal equipment and equipment are used, or technological complexes are created based on the use of unique equipment, large instruments and conductors, and in some cases – original tools (*Mechanichna obrobka velikogabaritnikh detalei zi znospsiykimi naplavochnimi materialami* (2015)). In the assembly of such components and machines, the fitting method is widely used. Due to the specific features of the processing of heavy and large-sized parts and the low seriality of their production, in the development of technology it is impossible to mechanically introduce progressive methods and methods of processing, as well as the organization of work that are widely used in large-scale and mass production of industries not related to heavy engineering. When processing these parts, there is often a need for original technical solutions ( Khrutskiy A.A., Slatvinskiy N.N., Chumak U.I. (2016); Stefaniv B.V. (2020)).

The main tasks in the processing of heavy and large-sized parts are: achieving the required geometry of accuracy, surface roughness and physical and mechanical properties of the surface layer. Finishing and finishing operations, during which the physical and mechanical properties of the surface layer of massive parts are formed, and therefore their performance, are based on cutting materials, including those welded during the repair of wear-resistant coatings ( Mazin F., Bhaskaran G., Sabin V. (2023); Xinfeng Liu, Riliang Liu, Jaming Feng, (2023)). Processing of large-sized parts is very time consuming, associated with a lot of time. Therefore, one of the main issues that have to be addressed in heavy engineering is to increase the processing productivity as a result of the use of advanced technological solutions, a further increase in production equipment, its specialization, mechanization and partial automation (Dobrianskiy S.S., Malafeev U.M., Pukhovskiy E.S. (2014); Pukhovskiy E.S. (2021)). A significant reserve for increasing labor productivity in heavy engineering is the rational organization of production of large-sized parts, based on the use of group technological processes, typification of processes, normalization of equipment and tools, centralization of technological preparation of production, introduction of scientific and technological achievements (Kirilovich V.A., Melnichuk P.P., Yanovskiy V.A. (2017); *Mechanichna obrobka velikogabaritnikh detalei*, (2015)).

The mining and metallurgical industries are the most export-oriented industries in our country. Therefore, the problem of providing these industries with modern equipment manufactured at heavy machinery factories is extremely urgent (*Tokarnokaruselnyy verstat Hwacheon HVT-2025M*, (2021); *Mechanichna obrobka velikogabaritnikh detalei*, (2015)). A significant reserve for increasing the durability of large-sized parts is the restoration of their working surfaces after work in extremely difficult conditions of the mining industry. The high material consumption of such parts necessitates the return of friction surfaces to their original performance due to the application of various wear-resistant materials. At the same time, almost always the characteristics of the working surfaces exceed the performance of new parts. This can significantly reduce the capital costs of equipment and improve the performance of the restored parts. Recently, a lot of researches has been carried out in this area, which make it possible to introduce into production methods of applying wear-resistant coatings, and technologies for their processing to ensure high performance in the operation of mining and hydro pressing equipment ((Khrutskiy A.A., Slatvinskiy N.N., Chumak U.I. (2016); *Mechanichna obrobka velikogabaritnikh detalei*, (2015); Mazin F., Bhaskaran G., Sabin V. (2023); Olt J., Krasny V., Maksarov V. (2019); Xinfeng Liu, Riliang Liu, Jaming Feng, (2023)).

**The purpose of the work:** Improving the efficiency of processing large-sized parts of mining and hydro pressing equipment based on optimal technological processes and modern machine tools.

**Key words:** large-sized parts, machining, mining equipment, hydro pressing equipment, bed, architaur, hull.

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Пуховський Євген Степанович

доктор технічних наук, професор

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Сікорського», м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0001-7843-0922

puhovskije50@gmail.com

Компонування гнучких виробничих систем (ГВС) багато в чому визначає технічні та економічні показники роботи обладнання ділянки, цеху та підприємства в цілому. Розстановка основного технологічного обладнання (ОТО) в ГВС визначається виробничими можливостями, обсягами продукції, яка випускається, та характером оброблюваних деталей. Загальні компонувальні схеми розміщення обладнання визначаються організаційно-технічними вимогами: технологічними зв'язками між ділянками та цехами, структурою системи інструментального забезпечення ділянок та окремих модулів обробки, технічними умовами експлуатації будівель, споруд і комунікацій (Pukhovskiy E.S., Malafeev U.M., Dobrianskiy S.S. (2015)) Структурно-компонувальні рішення гнучкої автоматизованої ділянки (ГАД) залежать від організаційно-технологічних рішень у цеху, напрямку матеріальних потоків, типів застосовуваних автоматизованих транспортних засобів (АТЗ) і пристроїв їх стикування, характеру систем інструментального забезпечення та видалення відходів виробництва (Increasing of the efficiency of flexible manufacturing system. (2016)).

За ознакою напрямку матеріальних потоків предметів і засобів праці відносно зон зберігання та зон обробки можна виділити такі основні компонування ГВС: радіальні, лінійні, Т-подібні, замкнені, вертикальні, комбіновані (Azab A., El Maraghy H.A. (2007); Pukhovskiy E.S. Problemi proektuvannia GVS. (2009)).

За радіальним компонуванням транспортні потоки розходяться в радіальному напрямі: від центрального накопичувача до обладнання, розташованого навколо зони зберігання. Таке компонування зручне для оброблюючого модуля, який складається з кількох агрегатів, зосереджених навколо стелажа з промисловим роботом (ПР). При радіальному компонуванні транспортні потоки розходяться в радіальному напрямі: від центрального накопичувача до обладнання, розташованого навколо зони зберігання. Таке компонування зручне для оброблюючого модуля, який складається з кількох агрегатів, зосереджених навколо стелажа з ПР (Megrabi M.G., Ulsol A.G., Koren Y., Heytler R. (2022)).

Лінійне компонування застосовується, наприклад, при транспортуванні вантажів штабелером складу безпосередньо до верстатів, витягнутих у лінію. Штабелер виконує роль транспортного пристрою, який обслуговує склад та обладнання для обробки. Такий вид компонування досить поширений, оскільки верстати можуть розташовуватись по один або по обидва боки від траси обслуговування при паралельній або перпендикулярній схемі встановлення відносно траси (Matta A., Samerato Q. (2006)).

При паралельному розташуванні верстатів уздовж траси зручно використовувати будь-які автоматизовані транспортні засоби (АТЗ) – підлогові та підвісні, проте деяка розтягненість траси та збільшена у зв'язку з цим потреба в площах, підвищене навантаження на транспортні засоби, потреба в їх додатковій кількості для транспортування до верстата інструменту та оснащення створюють деякі ускладнення і є головними недоліками паралельного розташування обладнання (Design of Flexible Production Systems. (2009)).

У разі перпендикулярного розташування обладнання до траси досягаються більша компактність планування і, отже, менша потреба у виробничих площах, можливість забезпечити робочі місця за допомогою одного транспортного засобу заготовками, інструментами та оснащенням, використання для транспортних цілей як підлогових, так і підвісних роботів. Недоліками даного компонування є підвищене навантаження на АТЗ, наявність додаткових вимог до виробничих площ і складність організації роботи на робочих місцях (Increasing of the efficiency of flexible manufacturing system. (2016)).

У разі Т-подібного компонування траси обслуговування верстатів перпендикулярні до трас зберігання. Такий вид компонування збільшує гнучкість системи і сприяє нарощуванню обсягів зберігання деталей при збільшенні масштабів випуску продукції.

У кільцевих компонуваннях траса АТЗ довільної траєкторії замкнена. Зона зберігання розміщена уздовж ділянки траси. Таке компонування дуже зручне при роботі на трасі кількох транспортних засобів, оскільки дає змогу розширити зону оптимізації обслуговування виключенням повернень і зменшенням шляхів доставки заготовок і оснащення (Design of Flexible Production Systems. (2009)).

Вертикальне компонування передбачає розміщення зони зберігання та обслуговування на різних рівнях. Передача заготовок і оснащення відбувається у вертикальній площині.

Комбіновані компонування, що об'єднують кілька ділянок, забезпечують максимальну гнучкість і мінімальні транспортні переміщення у разі різного розміщення технологічного обладнання.

Розробляючи компонування ГВС, треба враховувати всі параметри, що впливають на побудову системи: тип оброблюваних деталей, маршрутно – технологічні процеси виготовлення деталей, кількість і види обладнання і робочих місць, будівельні рішення виробничих приміщень і будівель, норми технологічного проектування (Guash A., Piera M., Figueras J. (2011); Manufacturing Systems. – Theory and Practice. (2005)).



**Мета роботи:** Підвищення ефективності гнучких виробничих систем за рахунок мінімізації площі розміщення ГВС, зменшення затрат на транспортне обслуговування обладнання та оптимізації організаційно-технічних та технологічних зв'язків.

**Ключові слова:** компоновання, траса, промисловий робот, верстат, дільниця, транспортер, штабелер, склад.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.12>

**Викладення основного матеріалу.** Завершальним етапом синтезу структури ВС є розміщення основного і допоміжного обладнання, тобто створення планування ВС. Автоматизація процесу синтезу планувань – актуальне завдання, так як до сих пір при проектуванні цехів і дільниць механообробного виробництва використовуються традиційні методи отримання планувань за допомогою шаблонів (тамплетів), вирізаних з плоского матеріалу. Система автоматизації проектування планувань (САПР-П) передбачає автоматизацію процесу отримання графічного зображення планування ГВС із застосуванням оптимізаційних процедур, що забезпечують раціональне розміщення обладнання і підвищення ефективності багатомоделного виробництва за рахунок економії виробничих площ. Аналіз методів автоматизації синтезу планувань підрозділів механічної обробки показує відсутність єдиного підходу до вирішення проблеми. В основному використовуються наступні критерії оцінки якості планувального рішення ГВС: мінімізація виробничої площі; мінімізація вантажопотоків або транспортних переміщень в ВС, на ділянці, в цеху; мінімізація вартості транспортної системи; мінімізація втрат, пов'язаних з простоями транспортних засобів. Розстановка устаткування в проектованій ВС залежить від її технологічного призначення. На ділянках технологічної спеціалізації обсяг вантажопотоків незначний, тому завдання планування обладнання зводиться до моделі розміщення невзаємопов'язаних об'єктів (Migel A.S., Vagner G.M. (2019)).

Ділянки предметної спеціалізації відрізняються необхідністю мінімізації вантажопотоку з метою підвищення, продуктивності за рахунок скорочення транспортних переміщень деталей в процесі обробки. На ділянках багатомоделного виробництва в залежності від номенклатури оброблюваних деталей, обсягів їх випуску та розміру партії запуску зустрічаються такі організаційно-технологічні ситуації: основне технологічне устаткування розташовується відповідно до прийнятої організаційної форми технологічних процесів; обладнання розташовується з урахуванням типу обраної транспортної системи (конвеєр, траса руху ПР і т. п.); обладнання, розміщується довільно з використанням ТЗ, що переміщуються по довільним траєкторіям. При проектуванні ГВС багатомоделного виробництва завдання розміщення обладнання вирішуються відповідно з так званим схемним варіантом, при якому компоновання трас обслуговування обладнання транспортними засобами визначено заздалегідь. На початковому етапі синтезу планувань ГВС вирішується питання про розподіл детале-операцій по конкретним верстатам, тобто формується матриця закріплення детале-операцій за окремими одиницями обладнання ГВС (табл. 1). В якості цільової

функції приймається мінімум сумарної довжини транспортних переміщень, які проходять всі деталі в процесі їх обробки. Вибір варіанту компоновальною структури ГВС здійснюється особою, яка приймає рішення, на підставі даних про застосування типових компоновок, поміщених в спеціалізовану базу даних, з урахуванням даних про пріоритети застосування різних транспортних засобів у ГВС (табл. 2). У разі, якщо необхідно вибрати компоновочну схему для заданої виробничої площі, обрану компоновку проектують на задану площу.

Для формалізації завдання вводиться поняття графа компоновання, який найбільш адекватно відображає розташування обладнання на виробничій площі ГПС і дозволяє врахувати розміри транспортних проїздів між рядами обладнання і наявність точок розвороту ТЗ, необхідних для обслуговування приверстатних накопичувачів, а також при передачі деталей між окремими одиницями обладнання розглядати тільки зони контакту обладнання (при-верстатні накопичувачі, осередки складу для прийому і видачі зі складу і т. п.) з ТЗ. Структура графа визначається відображенням обраної компоновальною схеми гнучкого виробничої дільниці (рис. 1). Відстанню  $l_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  – число одиниць основного технологічного обладнання (ОТО) в складі проектованої ГВС між вершинами  $a_i$  і  $a_j$  графа компоновання називається довжина найкоротшого ланцюга, що з'єднує ці вершини (під довжиною ланцюга розуміється сума довжин ребер, що входять до неї). Маючи в своєму розпорядженні тамплети з необхідними розмірами, тобто плани моделей обладнання, що входять до складу ГВС, можна для кожного варіанту розміщення верстатів в межах розглянутого компоновання скласти матрицю відстаней  $L = \| l_{ij} \|$  розмірності  $N \times N$  (табл. 3). Елементами матриці є відстані між контактними зонами обладнання, а також відстані між обладнанням та складом. На підставі прийнятих схем обробки детале-операцій групи, програми випуску деталей і даних матриці закріплення детале-операцій може бути складена матриця інтенсивності передачі деталей між різними одиницями устаткування ГВС  $A = \| \alpha_{ij} \|$ , елементами якої є інтенсивності передачі деталей від  $i$ -ї одиниці обладнання до  $j$ -ї:

$$\alpha_{ji} = \alpha_{ij} = \sum_{W=1}^D \{ 1 / t_o [ m_{ji}(W) + m_{ji}(W) ] \}$$

де  $m_{ji}(W)$  і  $m_{ij}(W)$  – число деталей  $W$ -го найменування, переданих відповідно від  $i$ -ї позиції до  $j$ -ї і навпаки за розглянутий плановий період  $t_o$ ;  $D$  – безліч найменувань деталей, що утворюють номенклатуру, закріплену за ГВС.

У такій постановці завдання розміщення являє собою квадратичну задачу про призначення, яка за складністю відноситься до класу NP оптимізаційних задач. Загальна кількість варіантів перебору в задачі дорівнює  $N!$ .



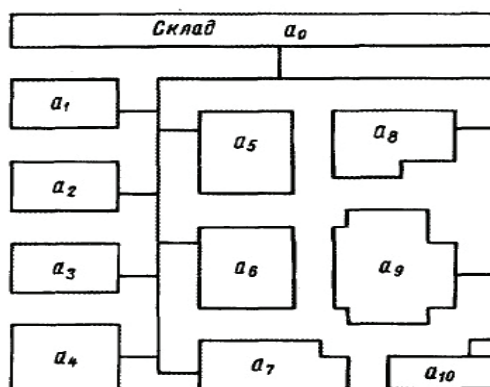
Матриця закріплення деталей-операцій групи за окремими одиницями обладнання

№ одиниці ОТО ГПС	№ деталеоперації групи												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	d	...	D
1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	...	1	...	0
2	0	1	0	0	0	1	1	0	1	...	0	...	1
3	1	0	1	0	0	1	1	0	0	...	1	...	1
4	0	1	0	1	0	1	0	0	1	...	1	...	0
5	1	1	1	0	1	0	0	1	0	...	0	...	0
6	0	1	1	0	0	1	1	0	0	...	1	...	1
7	0	0	0	1	1	0	0	1	1	...	1	...	0
.													
.													
.													
.	1	0	1	0	0	1	1	1	1	...	0	...	0
.													
.													
.													
.	1	0	1	0	0	1	0	1	1	...	0	...	1

Таблиця 2

Значення пріоритетів для транспортних засобів ГПС

Техніко-економічна характеристика	Роль-ганг	Рельсовий візок	Індуктивно-керований візок	Штабелер	Цепний конвеєр	Монорельс	Кран
Оперативність обслуговування	2	4	5	4	3	5	4
Вантажо-підйомність	5	2	4	2	5	4	4
Можливість вбудовування в систему додаткового обладнання	4	4	5	4	1	3	3
Можливість розвитку транспортної системи	3	4	5	4	2	3	4
Перебудова транспортного шляху	3	4	5	2	1	4	2
Можливість використання в якості внутрішньо-заводського транспорту	1	1	5	1	4	5	5
Можливість використання в якості накопичув.	5	1	2	5	4	3	3
Потреба у виробничій площі	1	2	3	2	3	5	5
Витрати на монтаж	3	1	5	1	4	1	4
Капіталовкладення	1	3	4	3	2	5	5

Рис. 1. Приклад графа компонентування для ГВС з числом одиниць основного технологічного устаткування  $N = 10$

Нижче розглядаються відомі методи рішення квадратичної задачі про призначення (Design of Flexible Production Systems.(2009); Guash A., Piera M., Figueras J. (2011); Modeling, Simulation and Control of Flexible Manufacturing Systems. (1999); Manufacturing Systems. – Theory and Practice. (2005)).

Таблиця 3

**Матриця відстаней  $L = \|L_{ij}\|$  між одиницями ОТО ГПС (з числом одиниць N=10)**

0	$a_0a_1$	$a_0a_2$	$a_0a_3$	$a_0a_4$	$a_0a_5$	$a_0a_6$	$a_0a_7$	$a_0a_8$	$a_0a_9$	$a_0a_{10}$
	$a_1a_1$	$a_1a_2$	$a_1a_3$	$a_1a_4$	$a_1a_5$	$a_1a_6$	$a_1a_7$	$a_1a_8$	$a_1a_9$	$a_1a_{10}$
		$a_2a_2$	$a_2a_3$	$a_2a_4$	$a_2a_5$	$a_2a_6$	$a_2a_7$	$a_2a_8$	$a_2a_9$	$a_2a_{10}$
			$a_3a_3$	$a_3a_4$	$a_3a_5$	$a_3a_6$	$a_3a_7$	$a_3a_8$	$a_3a_9$	$a_3a_{10}$
				$a_4a_4$	$a_4a_5$	$a_4a_6$	$a_4a_7$	$a_4a_8$	$a_4a_9$	$a_4a_{10}$
					$a_5a_5$	$a_5a_6$	$a_5a_7$	$a_5a_8$	$a_5a_9$	$a_5a_{10}$
						$a_6a_6$	$a_6a_7$	$a_6a_8$	$a_6a_9$	$a_6a_{10}$
							$a_7a_7$	$a_7a_8$	$a_7a_9$	$a_7a_{10}$
								$a_8a_8$	$a_8a_9$	$a_8a_{10}$
									$a_9a_9$	$a_9a_{10}$
										$a_{10}a_{10}$

**Метод релаксації.** Метод релаксації передбачає розгляд траєкторій транспортних засобів, які обслуговують одиниці технологічного устаткування ГВС, у вигляді пружних ліній (пружин). Тоді, в силу введеної аналогії, можна визначити силу тяжіння між одиницями обладнання згідно закону Гука  $f=kx$ , де  $k$  – коефіцієнт пружності, який визначається матрицею інтенсивностей передачі деталей між верстатами;  $x$  – протяжність транспортних переміщень між окремими одиницями обладнання ГВС. Рішення завдання розміщення при такому підході відповідає такому розміщенню верстатів, коли вся ГВС характеризується мінімальною кінетичною енергією.

**Попарні перестановки.** Метод попарних перестановок є одним з найпростіших методів пошуку оптимальних рішень задачі розміщення. При його використанні для конкретного розміщення технологічного обладнання оцінюється значення цільової функції і потім міняються місцями дві одиниці ОТО, після чого обчислюється нове значення цільової функції. У разі, якщо відбулося поліпшення значення цільової функції, останній варіант розміщення приймається для подальшого дослідження. В іншому випадку виконується парна перестановка іншої пари ОТО. У загальному випадку процес триває до тих пір, поки відбувається поліпшення значення цільової функції.

**Стохастичні методи.** Пошук локального рішення задачі розміщення, заснований на застосуванні методу Монте-Карло, виходить з того, що область прийнятних варіантів розміщень значна в області всіх можливих варіантів, тобто ймовірність випадкового вибору прийняттого варіанту розміщення досить висока.

**Метод гілок і меж.** Заснований на тому, що в процесі послідовного розгалуження безлічі допустимих рішень, виключаються ті з одержуваних підмножин, про які стало відомо, що вони не містять допустимих рішень, кращих деякого раніше отриманого.

Аналіз переваг і недоліків різних методів вирішення квадратичної задачі про призначення, дозволив зупинитися на застосуванні для синтезу розміщення ОТО ГВС методу попарних перестановок.

Завдання вибору оптимального розміщення одиниць основного технологічного обладнання гнучкого виробничого ділянки може бути сформульована як задача пошуку на орієнтованому графі  $G_N$  взаємних перестановок. Граф  $G_N$  будують таким чином. Кожному конкретному варіанту розміщення  $N$  одиниць технологічного обладнання по виділених  $N$  позиціях на даній ділянці поставимо у відповідність одну вершину графа  $G_N$ . Таким чином шуканий граф характеризується  $N!$  вершинами. Деяку вершину графа  $G_N$  називають сусідньою по відношенню до деякої іншої вершини цього ж графа, якщо розміщення обладнання, відповідне другий вершині, виходить з розміщення обладнання, відповідного першій вершині, тільки однією перестановкою двох одиниць обладнання. Якщо тепер кожну вершину графа  $G_N$  з'єднати дугами з усіма сусідніми до неї вершинами, то однозначно задається граф  $G_N$  для розміщення  $N$  одиниць обладнання. У всіх вершин графа  $G_N$  однаково число сусідніх вершин, тобто кожна вершина графа з'єднана ребрами рівно з  $N(N-1)/2$  іншими вершинами. Назвемо таким чином отриманий граф графом розміщення.

На рис. 2 наведено приклад графа розміщення для  $N=4$ . У цього графа  $4! = 24$  вершини і у кожній вершині  $4(4-1)/2 = 6$  сусідніх вершин.

Очевидно, що на графі  $G_N$  можуть бути локальні мінімуми, причому, потрапивши в локальний мінімум, неможливо визначити, глобальний чи локальний це мінімум, поки не визначено безліч всіх локальних мінімумів. Розроблено алгоритм локальної оптимізації, який дозволяє раціонально проводити пошук безлічі локальних мінімумів на графі  $G_N$  в основу якого покладено метод попарних перестановок. Переміщення з вершини графа  $G_N$  в одну із сусідніх по відношенню до неї вершин відповідає одній попарній перестановці. Методом попарних перестановок з довільної початкової вершини графа  $G_N$  знаходять вершину, що характеризується локальним максимумом. Це відповідає підйому в вершину з локально-максимальним значенням цільової функції. Із знайденої вершини методом попарних перестановок проводимо пошук безлічі вершин, відповідних локальним мінімумам по всім, що виходять з даної вершини ребрам.

Це відповідає спуску з вершини з локальним максимумом цільової функції вершини з локальними мінімумами. Підйом в вершину з локальним максимумом вигідний тим, що з такої вершини пошук вершин з локальними мінімумами на графі  $G_N$  буде більш ефективним. Безліч локальних мінімумів, знайдених з локального максимуму, більш широкий, ніж той же безліч, знайдений з довільної вершини, так як при підйомі в вершину, відповідну локальному максимуму, безліч досяжних вершин розширюється. В результаті пошуку локальних мінімумів з усіх відповідних ребер отримуємо деякий безліч вершин, відповідний різним локальним мінімумам. Вибравши з цієї множини вершин вершину, відповідну локальному мінімуму, що характеризується наймен-

шим значенням цільової функції, отримують локально-оптимальне рішення задачі розміщення технологічного обладнання ГВС.

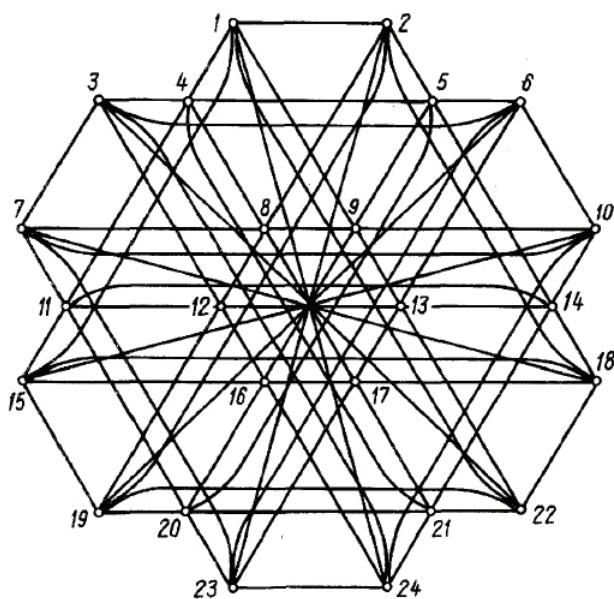


Рис. 2. Приклад графіка розміщення основного технологічного устаткування ГПС з числом одиниць  $N = 4$

При необхідності можна продовжити пошук вершини графа, що відповідає більш оптимальному рішенні задачі розміщення, в такий спосіб: знаходять на графі вершину, відповідну локального максимуму, але відмінну від вершини з якої вже було здійснено пошук вершин, відповідних локальних мінімумам. Перебуваючи в новому локальному максимумі, здійснюємо пошук безлічі локальних мінімумів, які доповнять раніше сформований безліч локальних мінімумів. Якщо серед додаткових варіантів розміщень є краще, ніж раніше сформовані, розміщення, то вибирають його в якості локально – оптимального рішення задачі розміщення обладнання.

Блок-схема розробленого алгоритму пошуку локально оптимального варіанту розміщення одиниць основного технологічного устаткування ГВС представлена на рис. 3.

Блок 12 призначений для здійснення додаткової установки окремих одиниць ОТО, в межах обраної компоноваль-

ної схеми, в тих випадках, коли відповідні тамплети візуально потрапляють в заборонені для розміщення зони. До числа таких зон відносяться колони, електрошафи, проїзди і т. п.

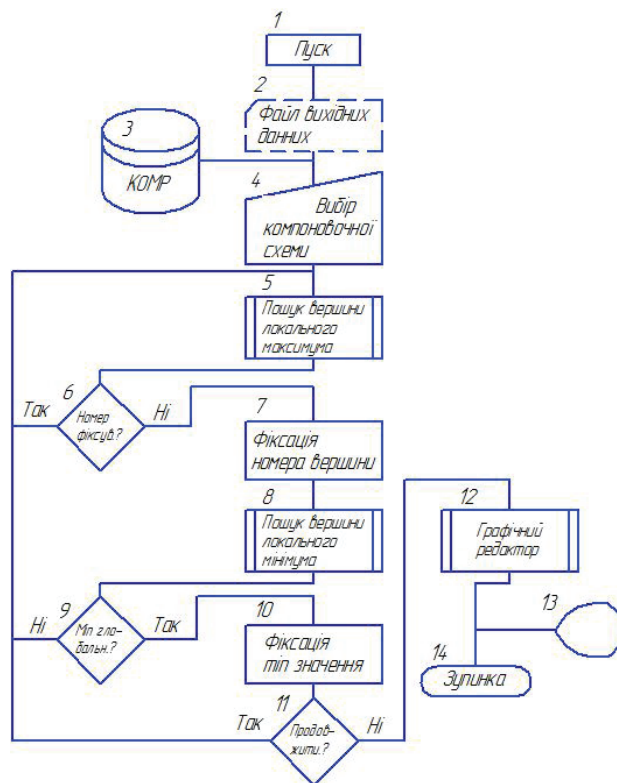


Рис. 3. Збільшена блок-схема алгоритму синтезу оптимального розміщення основного технологічного устаткування ГВС

Приведений алгоритм може слугувати як базовий при повній процедурі розміщення ОТО на завершальному етапі проектування ГВС.

**Висновки.** Розроблена методика розміщення основного технологічного обладнання ГВС, яка дозволяє автоматизувати складні проектні роботи та оптимізувати процедуру розміщення ОТО. Оптимізація планувань ГВС дозволяє значно підвищити їх ефективність за рахунок зменшення виробничих площ, мінімізації транспортних потоків та зниження капітальних вкладень при впровадженні сучасних гнучких автоматизованих виробництв.

#### Бібліографічні посилання:

1. Azab A., El Maraghy H.A., (2007) Mathematical Modelling for reconfigurable process planning. CIRP Ann 56 (1) : 467-472.
2. Design of Flexible Production Systems. (2009), Metodologies and Tools. By T. Tolio. Berlin: Springer, ISBN 978-3-540-85413-5.
3. N. Manesku, A. Nedelcu, (2015), Flexibility and efficiency analysis of a flexible manufacturing system. Romania. Review of the Air Force Academy, N1, (28).
4. Flexible versus efficiency? (1999). A case study of modern changeover in the Toyota Production System. P. Adler, B. Goldoftas, D. Levine, University of Southern California, Los Angeles. Organisation Science/ vol. 10, N1, June.
5. Guash A., Piera M., Figueras J. (2011) Automatic warehouse modelling and simulation. International Journal of Simulation. Process modelling, 6(4), 228-296.
6. Yakimovitch B., Korshunov A., Sviatski V. (2016), Increasing of the efficiency of flexible manufacturing system. International conference of manufacturing engineering. 6-10 June, Novy Smocolec, Slovakia. <https://doi.org/10/j.proeng.2016.06.709>



7. Manufacturing Systems. – Theory and Practice. (2005), By G. Chryssolouris. New York, NY: Springer Verlag. 2<sup>nd</sup> edition, 233 p.
8. Matta A., Samerato Q. (2006), 200Design of advanced manufacturing systems. Springer, The Netherlands.
9. Megrabi M.G., Ulsol A.G., Koren Y., Heytler R. (2022), Trend and Perspectives in Flexible and Reconfigurable Manufacturing Systems. April, 20 Journal of Intelligent Manufacturing Systems, 13(2) / DOI: 10.1023/A:101453633051
10. Migel A.S., Vagner G.M. (2019), Implementation of a Flexible Manufacturing Systems in a production of the automotive industry. decision and choice. University of Vale do Rio. – Brasil, DOI: 10.1590/0103-6513.20180092.
11. Modeling, Simulation and Control of Flexible Manufacturing Systems. (1999). By (autors): Meng Chu Zhou (New Jersey Institute of Technology, USA) and Kurapati Vencates (New Jersey Institute of Technology, USA)., 428 p.,
12. Pukhovskiy E.S. (2009), Problemi proektuvannia GVS. [Problems of FMS dtsign], Visnik NTUU(KPI), Mashinosnoenie, N56, S. 127-134. [in Ukrainian].
13. Pukhovskiy E.S., Malafeev U.M. (2017), Proektuvannia gnuchkikh virobnychikh system mashinobuduvannia. [Design of flexible manufacturing systems of mechanical engineering], chast 1, NTUU(KPI), – 286 s. (in Ukrainian).
14. Pukhovskiy E.S., Malafeev U.M., Dobrianskiy S.S. (2015), Proektuvannia gnuchkikh virobnychikh system mashinobuduvannia. [Design of flexible manufacturing systems of mechanical engineering], chast 2, NTUU(KPI), – 204 s. (in Ukrainian).
15. Veselovskaia N.P. (2015) Analis verstatnikh kompleksiv mekhanichnoi obrobki v mashinobuduvanni. [Analysis of machine tool complexes of mechanical processing in mechanical engineering]. Vinnitza, VDU, 8 s. (in Ukrainian).

**Pukhovskiy Ye. S.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

### **Optimization of placement of equipment for flexible manufacturing systems**

*The layout of flexible manufacturing systems (FMS) largely determines the technical and economic performance of the equipment of the site, workshop and enterprise as a whole (Pukhovskiy E.S., Malafeev U.M., Dobrianskiy S.S. (2015)). The arrangement of the main technological equipment (MTE) in the FMS is determined by the production capabilities, the volume of products and the nature of the parts being processed. General layout schemes for the placement of equipment are determined by organizational and technical requirements: technological links between sites and workshops, the structure of the system of tooling of sites and individual processing modules, technical conditions for the operation of buildings, structures and communications (Increasing of the efficiency of flexible manufacturing system. (2016)). Structural and layout solutions of a flexible automated site depend on organizational and technological solutions in the workshop, the direction of material flows, the types of automated vehicles used and their docking devices, the nature of tool support systems and production waste disposal (Increasing of the efficiency of flexible manufacturing system. (2016)). After sign of the direction of material flows of objects and means of labor relative to storage areas and processing areas can be distinguished the following main layouts of FMS: radial, linear, T-shaped, closed, vertical, combined (Azab A., El Maraghy H.A. (2007); Pukhovskiy E.S. Problemi proektuvannia GVS. (2009)).*

*According to the radial layout, traffic flows diverge in the radial direction: from the central drive to the equipment located around the storage area. This layout is convenient for the processing module, which consists of several units centered around the rack with an industrial robot (IR). With a radial layout, traffic flows diverge in the radial direction: from the central drive to the equipment located around the storage area. This layout is convenient for the processing module, which consists of several units centered around the rack with IR (Increasing of the efficiency of flexible manufacturing system. (2016)). Linear layout is used, for example, when transporting goods by a warehouse stacker directly to machines stretched out into a line. The stacker acts as a transport device that serves the warehouse and processing equipment. This type of layout is quite common, since the machines can be located on one or both sides of the service route with a parallel or perpendicular installation scheme relative to the route (Matta A., Samerato Q. (2006)).*

*With the parallel arrangement of machines along the route, it is convenient to use any automated vehicles – floor and suspension, but some stretching of the route and increased in this regard, the need for areas, increased load on vehicles, the need for their additional quantity for transportation to the machine tool and equipment create some complications and are the main disadvantages of the parallel arrangement of equipment (Design of Flexible Production Systems. (2009)).*

*In the case of perpendicular arrangement of equipment to the highway, greater compactness of planning and, therefore, less need for production areas are achieved, the ability to provide workplaces with the help of one vehicle with blanks, tools and equipment, the use of both floor and suspended robots for transport purposes. The disadvantages of this layout are the increased load on the vehicle, the presence of additional requirements for production areas and the complexity of organizing work in the workplace (Increasing of the efficiency of flexible manufacturing system. (2016)).*

*In the case of a T-shaped layout, the machine maintenance routes are perpendicular to the storage routes. This type of layout increases the flexibility of the system and contributes to an increase in the storage of parts while increasing the scale of production. In ring layouts, the transport route of an arbitrary trajectory is closed. The storage area is located along the section of the route. This layout is very convenient when working on the highway of several vehicles, as it makes it possible to expand the service optimization area by eliminating returns and reducing the delivery routes of workpieces and equipment (Design of Flexible Production Systems. (2009)). The vertical layout involves placing the storage and maintenance area at different levels. The transfer of blanks and equipment takes place in a vertical plane. Combined layouts, combining several sections, provide maximum flexibility and minimal transport movements in the case of different placement of technological equipment. When developing the layout of the FMS, it is necessary to take into account all the parameters affecting the construction of the system: the type of parts being processed, the route*



*and technological processes for manufacturing parts, the number and types of equipment and workplaces, construction solutions for industrial premises and buildings, technological design standards (Guash A., Piera M., Figueras J. (2011); Manufacturing Systems. – Theory and Practice. (2005)).*

**The purpose of the work:** *Improving the efficiency of flexible manufacturing systems by minimizing the area of FMS placement, reducing the cost of transport maintenance of equipment and optimizing organizational, technical and technological connections.*

**Key words:** *layout, route, industrial robot, machine tool, site, conveyor, stacker, warehouse.*

## ДОСЛІДЖЕННЯ МАШИН ДЛЯ РОЗЛІСНЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ

**Семірненко Юрій Іванович**

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-4230-4614  
yurii.semirnenko@snau.edu.ua

**Семірненко Світлана Леонідівна**

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-9304-3637  
svitlana.semirnenko@snau.edu.ua

*Сільське господарство є однією із найстаріших галузей у світі. Не дивлячись на це, воно й на теперішній час залишається самою затребуваною галуззю.*

*Враховуючи той факт, що Україна є аграрною країною і у відповідності до даних, приведених Міністерством аграрної політики та продовольства в довоєнний період, являється другою державою серед найбільших експортерів зернових культур усього світу.*

*Нарощування темпів виробництва зернових культур можливе за рахунок збільшення врожайності, або за рахунок збільшення посівних площ. Збільшення посівних площ в теперішній час можливе тільки за рахунок розліснення полів, їх окультурення. Як відомо, розліснення – це видалення деревинних чагарників на перелогових землях, полях або їх ділянках. Вважається, що розліснення полів або їх ділянок є дієвий метод збільшення земельного банку підприємства, що потребує порівняно незначних фінансових затрат, часу та трудових ресурсів. Однією із основних причин заліснення ділянок полів є розширення захисних лісосмуг за рахунок розсіву насіння деревини, а також лісових масивів, які прилягають до полів.*

*Із статистичних даних відомо, що на 2020 рік площа самосійної деревини на полях в Україні становила близько 200 тисяч га. На жаль, після закінчення війни ця площа буде значно більшою із-за бойових дій та мінувань полів, лук та інших земельних угідь по всій території країни.*

*Для вирішення проблеми розліснення полів нами був проведений аналіз машин для видалення деревно-чагарникової рослинності. Були визначені основні якісні показники роботи даних машин. Проведені дослідження по визначенню даних показників для кожної із машин, що використовувалася для розліснення полів. В результаті проведених досліджень було визначено кращий варіант за показниками якості роботи машини по видаленню деревно-чагарникової рослинності з полів.*

**Ключові слова:** зрізання, видалення, деревинно-чагарникової рослинності, розліснення, стовбур, зрізання, машини, мультчер.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.13>

**Вступ.** Сільське господарство є однією із найстаріших галузей у світі. Не дивлячись на це, воно й на теперішній час залишається самою затребуваною галуззю.

Враховуючи той факт, що Україна є аграрною країною і у відповідності до даних, приведених Міністерством аграрної політики та продовольства (Кашка, 2021) у довоєнний період, являється другою державою серед найбільших експортерів зернових культур усього світу (Yeles, 2016).

Нарощування темпів виробництва зернових культур можливе за рахунок збільшення врожайності, або за рахунок збільшення посівних площ. Збільшення посівних площ в теперішній час можливе тільки за рахунок розліснення полів, їх окультурення. Як відомо, розліснення – це видалення деревинних чагарників на перелогових землях, полях або їх ділянках. Вважається, що розліснення полів або їх ділянок є дієвий метод збільшення земельного банку підприємства, що потребує порівняно незначних фінансових затрат, часу та трудових ресурсів (Dauhul & Aleksenko, 2018).

Однією із основних причин заліснення ділянок полів є розширення захисних лісосмуг за рахунок розсіву насіння деревини, а також лісових масивів, які прилягають до полів. Із статистичних даних (Statystychnyi shchorichnyk, 2020) відомо, що на 2020 рік площа самосійної деревини на полях в Україні становила більше двохсот тисяч га.

На превеликий жаль, після закінчення війни ця площа буде значно більшою із-за бойових дій та мінувань полів, лук та інших земельних угідь по всій території країни. Так, за даними ДСНС України, на середину листопада 2022 року заміновано близько 30% загальної території нашої країни (Petrovych, 2022; Pryshchera, 2022, Zhyvytskyi, 2022). Для розмінувань даних територій, у відповідності до даних ДСНС, необхідно не менше п'яти років. Тому, для України проблема розліснення полів стане ще більш нагальною.

Рішення проблеми зрізання та видалення деревинно-чагарникової рослинності є актуальним не тільки

Таблиця 1

## Розліснення площ

Роки	Площа розліснення за календарний рік, га
2020	106,0
2021	160,5
2022	-
Залишок на наступні роки	76,06
Всього	342,56

Як видно з таблиці 1, найбільшу площу угідь було розліснено у 2021 році – 160,5 га. Із-за бойових дій у 2022 році розліснення не проводилось. Залишок від попередніх років становить 76,06 га.

Для прикордонних з Росією областей виникла у аграріїв проблема небезпеки обробки полів, що межують із прикордонними зонами. Особливо ця проблема гостро постала для аграріїв Сумської області із-за найбільшої протяжності кордону з Росією – 563,8 км (Pryshchera, 2022). Часті обстріли, не розірвані боєприпаси і т. ін. вимушують залишати не обробленими тисячі гектарів сільгоспугідь області, які потрібно буде після війни окультурювати. Так, у Буринському відділенні ТОВ «Райз Північ» на кінець 2022 року стан справ наступний (табл. 2).

Так, при загальній посівній площі 13480 га у Буринському відділенні ТОВ «Райз Північ», частина не оброблених полів у 2022 році із-за бойових дій склала майже 14,30%. На 2023 рік цей відсоток збільшиться до 14,74%.

Ефективна робота технічних засобів по видаленню деревинної рослинності можлива при наявності знань фізико-механічних властивостей даної деревини. З цієї метою нами було визначено основні породи деревини, якою заліснюються поля та луки Конотопського району, а саме ТОВ «Райз Північ». В результаті досліджень було виявлено, що переважну більшість рослинних чагарників на полях складають такі породи дерев як тополя, ясен, груша, клен ясенелистий.

Кожна порода деревини має свої фізико-механічні властивості, які у значній мірі впливають на вибір робочих органів, зусилля різання і в кінцевому варіанті – на продуктивність машин та питомі витрати на розліснення.

Дослідженнями фізико-механічних властивостей деревини займалися такі вчені як О. П. Божок, І. С. Вінтонів, А. К. Спірочкін, В. В. Фурсов, Е. П. Ліцман та ін. За кордоном також проводилися дослідження впливу фізико-механічних властивостей на подрібнення деревини (Soman et al., 2020; Uhmeier, 2015; Spinelli et al., 2016).

Таблиця 2

## Площі полів, що будуть потребувати окультурення

№ п/п	Сільська рада	Площа, яка не засівалася в 2022 р., га	Відстань до кордону, км	Площа, яка не планується засіватися в 2023 р., га
1	Манухівська	231	7-9	231
2	Бояролежачівська	249	1-5	249
3	Бунякінська	743	5-10	743
4	Червоноозерська	702	До 15	764
	Всього	1925	-	1987

для сільськогосподарської галузі при культуротехнічних операціях, а й при виконанні технологічних операцій по лісовідновленню при захисті від деревинно-чагарникової рослинності лінійних об'єктів, таких як лінії електропередач, залізничні та автомобільні дороги різних категорій та ін. Вирішення даної проблеми висвітлено в ряді робіт (Martianych, 2015; Drapaliuk, 2013; Ivashniev, 2006; Shehelman et al., 2013) вітчизняних та зарубіжних авторів. У більшості випадків дана операція виконується, як правило, наявною в сільськогосподарських підприємствах технікою, яка в більшій чи меншій мірі підходить для виконання розліснення (Statystychnyi shchorichnyk, 2020; Soman et al., 2020; Verani et al., 2017). Але проведений аналіз літературних джерел показав, що не розглянуті питання вибору ефективного способу розліснення сільськогосподарських угідь та вибору раціонального обладнання для виконання даної операції (Soman et al., 2020; Verani et al., 2017).

**Матеріали і методи досліджень.** В дослідженнях використовувались машини пасивної та активної дії для розліснення сільськогосподарських угідь.

Загальна методика досліджень передбачала розробку передумов з пошуку раціонального технологічного процесу видалення деревинно-чагарникової рослинності для конкретних умов, їх експериментальну перевірку в польових умовах, а також ефективність роботи.

Експериментальні дослідження виконувались на основі загальноприйнятих методик із застосуванням вимірювальної апаратури, а також з використанням теорії планування багатofакторного експерименту.

Для обробки експериментальних результатів досліджень застосовані основні методи математичної статистики. Експериментальні дані опрацьовували за допомогою прикладних програмних пакетів Microsoft Excel, Компас 3D, STATISTICA 6.

**Результати досліджень.** Необхідність виконання даних робіт в агропромисловому комплексі пов'язана, перш за все, із необхідністю окультурення родючих земель з метою збільшення посівних площ та недопущання подальшого просування деревинно-чагарникової рослинності по полях.

Дослідження проводились у Буринському відділенні ТОВ «Райз Північ» на протязі 2021–2022 років.

Площа необхідного розліснення полів становила на 2020 рік – 342,56 га.

Динаміка виконання розліснення вказаних площ у Буринському відділенні ТОВ «Райз Північ» приведена в таблиці 1.

Враховуючи фізико-механічні властивості деревинних чагарників можна вибирати техніку для окультурення сільгоспугідь, знаряддя та робочі органи.

На теперішній час існують декілька способів розліснення сільськогосподарських угідь – механічний, хімічний, очищення спалюванням, біологічний.

Найбільш розповсюдженим в сільськогосподарському виробництві із-за своєї продуктивності, універсальності та доступності є механічний спосіб.

При використанні механізованої технології розліснення виконуються перелічені далі операції. Операція зрізання наземної частини деревно-чагарникової рослинності, для виконання якої застосовуються кущорізи з пасивними та активними робочими органами. Наступна операція – зрібання із подальшим видаленням зрізаної рослинності волокушами, граблями або підбирачами з подальшим навантаженням в транспортний засіб тракторними навантажувачами. Видалена рослинність в подальшому після підсихання в буртах переробляється на щепу за допомогою мобільних машин для рубки, після чого щепи автомобілями чи тракторними причепами транспортується до місця зберігання. Останньою операцією в даній технології є видалення пеньків за допомогою відповідних машин циклічної чи безперервної дії з подальшою їх утилізацією (Soman et al., 2020).

Класифікацію машини для розліснення сільськогосподарських угідь можна виконати за багатьма показниками, такими як умови роботи машини; вік, порода та фізико-механічні властивості деревини і т. ін.

Проведений нами аналіз наведеної механізованої технології виявив цілий ряд недоліків: при зрібанні вказаної рослинної маси йде значне її забруднення та часткове перемішування з ґрунтом, що ускладнює подальшу переробку на щепу; значна частина родючого ґрунту вивозиться за межі поля; із-за малої щільності завантаженої в транспортний засіб рослинної маси її транспортування є дорогим і економічно недоцільним; викорчовування пеньків є трудомістким і енергозатратним процесом в даній технології.

При розлісненні сільськогосподарських угідь від деревно-чагарникової рослинності на експлуатаційні показники роботи машин для виконання даної операції найбільше впливають наступні фактори: діаметр стовбурів, кількість на одиниці площі, порода деревини.

Методика дослідження полягала у виборі типових ділянок на полях, які потрібно розчищати від деревно-чагарникової рослинності і проведенню замірів.

Дослідження стану деревно-чагарникової рослинності проводилось шляхом шести замірів на окремих полях.

На ділянках вибиралися облікові майданчики, де проводилися відповідні заміри шляхом накладання розбірної рамки розміром 1x1 м і визначалися: кількість стволів на м<sup>2</sup>, діаметр стовбурів рослин на висоті можливого зрізу (60 мм) та породи дерев.

Заміри та розрахунки проводилися на трьох полях, кожне з яких мало площу близько 200 га. Площі під розліснення на кожному полі складала 9,2; 8,9 та 10,0 га відповідно.

Після підрахунку кількості стовбурів при шестикратному накладанні рамки на різних ділянках кожного поля визначалося середнє значення стовбурів для даного поля.

Після проведення польових досліджень, проводимо перерахунок кількості деревно-чагарникової рослинності на 1 га:

$$n_{aa} = 10000 n_{\delta} \cdot s_{\delta}$$

де  $n_{aa}$  – кількість деревно-чагарникової рослинності на ділянці під розліснення, шт.;

$n_{\delta}$  – середня кількість деревно-чагарникової рослинності на обліковому майданчику (1 м<sup>2</sup>), шт.;

$s_{\delta}$  – площа ділянки під розліснення, га.

Результати досліджень наведені в табл. 3.

Як видно з табл. 3, найбільша кількість деревно-чагарникової рослинності припадає на третє поле.

Приймаємо середню кількість деревини на м<sup>2</sup> – 1,5 шт.

Одночасно із визначенням кількості стовбурів деревно-чагарникової рослинності, визначали також і її діаметр. Розподіл деревно-чагарникової рослинності на досліджених полях по діаметру наведено в таблиці 4.

Із таблиці 4 можна зробити висновок, що основна частина деревно-чагарникової рослинності на всіх полях має діаметр до 30 мм.

На основі проведених польових досліджень, нами був проведений аналіз машин для розліснення з урахуванням конкретного стану деревно-чагарникової рослинності полів господарства.

У залежності від дії ріжучого робочого органу на рослинність, машини поділяють на машини пасивної та активної дії.

Для більш об'єктивної порівняльної оцінки машин для розліснення розглядатимемо тільки ті машини, які виконують операцію по видаленню деревно-чагарникової рослинності одною машиною і за один прохід.

Машини пасивної дії – це машини, у яких робочі органи не мають самостійного приводу. До даних машин відносяться кущорізи, котки-кущорізи, викорчовувачі та викорчовувачі-навантажувачі.

Робочі органи даних машин виконані у вигляді ножового відвалу. Даний відвал навішується спереду трактора.

Дані машини агрегатуються з тракторами класу тяги 30–50 кН. В основу їх роботи покладений спосіб силового різання із ковзанням.

При роботі даних машин відбувається безладне зрізання та валяння деревно-чагарникової рослинності, переміщення, перемішування з ґрунтом та ущільнення зрізаної рослинної маси. Це призводить до захаращення ділянок, що розліснюються.

Котки-кущорізи призначені також для знищення чагарникової рослинності. Вони уявляють собою циліндричний барабан, зовні якого по гвинтовій лінії розташовані ножі, завдяки яким забезпечується подрібнення прикоченої чагарникової рослинності та часткова заробка її в ґрунт.

До машин пасивної дії відносяться також викорчовувачі.



Кількісні показники деревно-чагарникової рослинності

№ поля	Середня кількість деревно-чагарникової рослинності на обліковому майданчику, шт	Кількість деревно-чагарникової рослинності на ділянці під розліснення, шт.
1	1,1	101200
2	1,4	124600
3	1,8	180000

Розподіл деревно-чагарникової рослинності по діаметру стовбурів

№ поля	Розподіл по діаметру, %		
	до 30 мм	31–60 мм	61–90 мм
1	94,8	5,0	0,2
2	95,9	4,9	0,1
3	96,2	3,8	-

Дана машина забезпечує розчищення ділянки поля від деревно-чагарникової рослинності та транспортування її за межі поля. Максимальна глибина ходу зубів – 250 мм. Монтується на місце бульдозерної навіски.

Найбільш розповсюдженим викорчовувачем-навантажувачем є агрегат, що складається із навантажувача Manitou із відповідним змінним обладнанням.

Особливістю даної машини є висока маневреність. Весь технологічний процес полягає в заглибленні зубів на глибину до 250 мм, викорчовуванні чагарників та транспортуванні їх за межі поля. Тобто, агрегат працює циклічно.

До машин для розліснення полів активної дії відносяться машини, у яких робочі органи приводяться в рух (обертальний) від двигуна базової машини.

До даних машин відносяться лісові мульчери, ротатори, універсальні лісові фрезі та ін. Всі ці машини мають горизонтальну вісь обертання робочого органу та схожий принцип дії. Основною відмінністю кожної із перерахованих машин є максимальний діаметр деревини, яку вона здатні подрібнити при оптимальній швидкості.

Слід зазначити, що до машин активної дії відносяться косарки чагарників (косарка Карпенка, стрілова косарка КРД-1,5 та ін.) – машини з вертикальною віссю обертання робочих органів, але дані машини не забезпечують самостійно видалення деревинно-чагарникової рослинності з полів. Вони забезпечують тільки зрізання, а для прибирання скошених стовбурів та викорчовування – потрібні інші машини.

Із даного переліку машин з горизонтальною віссю обертання розглянемо ту, яка по потужності, що споживається для виконання даних робіт, наближена до попередньо розглянутих машин пасивної дії, а саме мульчер (Arpit et al., 2018).

Враховуючи конкретні умови роботи по розлісненню (діаметр стовбурів деревини, кількість на м<sup>2</sup> і т. ін., нами досліджувалася робота мульчера Serrat T-1800.

Даний мульчер використовуються для подрібнення дерев та чагарників діаметром до 80 мм.

Для об'єктивного вибору кращого варіанту машини для розліснення полів нами запропонована десятибальна шкала якісного оцінювання за наступними показниками:

- винесення ґрунту за межі ділянки, що розліснюється;
- наявність залишків незаробленої в ґрунт деревини;
- питомі затрати на розліснення;
- нерівність поверхні після розліснення (наявність колій, ям, борід, гребнів і т. ін.).

Для оцінювання була застосована зворотна шкала. За 10 балів бралися найгірші показники якості машини.

При цьому всі показники, крім третього, оцінювались нами на розліснених ділянках тою чи іншою машиною. Третій показник, питомі затрати, вибирався із довідкової літератури та технічної документації відповідних машин.

Як видно з таблиці 5, найкращі показники якості при розлісненні показав мульчер Serrat T-1800. Найближчою машиною по якісним показникам при виконанні розліснення полів є каток-кущоріз КУЛ-2,8.

Оцінка якості машин для розліснення

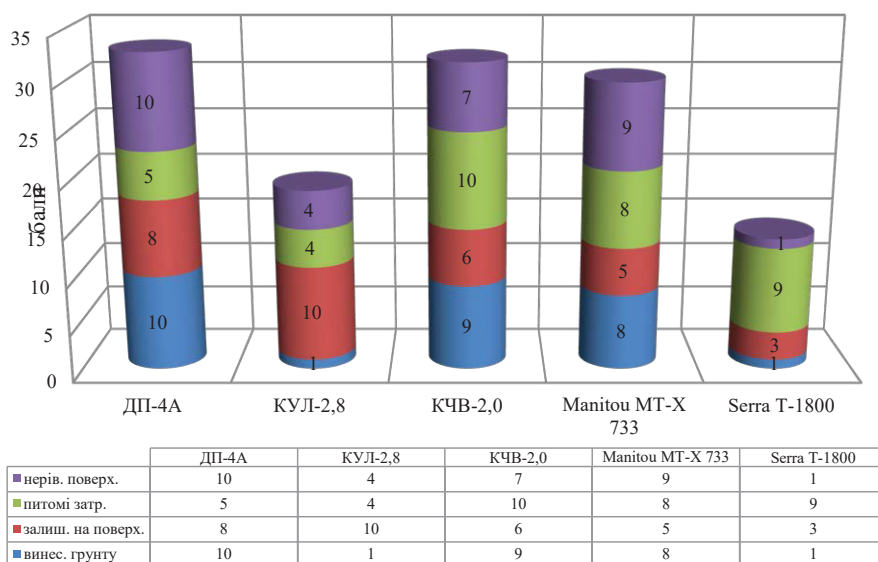
№ п/п	Показник якості (в балах від 1 до 10)	ДП-4А	КУЛ-2,8	КЧВ-2,0	Manitou MT-X 733	Serra T-1800
1	Винесення ґрунту за межі ділянки, що розліснюється	10	1	9	8	1
2	Наявність залишків деревини на поверхні ґрунту	8	10	6	5	3
3	Питомі затрати	5	4	10	8	9
4	Нерівність поверхні після розліснення	10	4	7	9	1
5	Сума балів	33	19	32	30	14

В той же час, найгірші показники у кущоріза ДП-4А та викорчовувача КЧВ-2,0. Низькі показники якості, також у викорчовувача-навантажувача Manitou MT-X 733.

Для наглядної демонстрації показників якості перерахованих машин для розліснення сільськогосподарських угідь нами була побудована стовпчаста діаграма (рис. 1).

Для виконання робіт по розлісненню полів у нашому господарстві, була вибрана машина, що має найкращі якісні показники – мульчер Serrat T-1800.

**Обговорення.** Проведений аналіз наукових публікацій вказує на широке застосування технічних засобів для розліснення сільськогосподарських угідь (Dauhul & Aleksenko, 2018; Shehelman et al., 2013). Для виконання даної операції використовуються, здебільшого, наявні в сільськогосподарських підприємствах технічні засоби, які прямо не призначені для видалення деревно-чагарникової рослинності і не забезпечують належної якості виконання даних робіт (Soman et al., 2020; Verani et al., 2017). На основі проведе-



**Рис. 1. Оцінка якості машин для розліснення**

них досліджень по використанню техніки та технології для розліснення сільськогосподарських угідь (Dauhul & Aleksenko, 2018; Drapaliuk, 2013; Arpit et al., 2018) було запропоновано використання мульчера, машини, що показала найкращі якісні характеристики роботи в конкретних умовах.

Таким чином, використання даної машини дозволяє значно підвищити якість виконання робіт по розлісненню сільськогосподарських угідь, підвищити ефективність використання зрізаної деревно-чагарникової рослинності. Крім того, дана машина є універсальною і може використовуватися в сільгосппідприємствах для виконання інших операцій по обробітці ґрунту, що зменшує парк сільськогосподарської техніки, а отже й затрати коштів на її придбання, обслуговування та зберігання.

**Висновки.** Проведені дослідження по визначенню площ, що потребують на теперішній час розліснення та площ, які необхідно буде розліснювати у повоєнний час у ТОВ «Райз Північ».

Виконаний аналіз технічних засобів для розліснення сільськогосподарських угідь показав на доцільність для наших умов застосування механізованої технології видалення деревно-чагарникової рослинності.

Проведені дослідження по визначенню основних факторів, що впливають на вибір машин для розліснення. Визначені кількісні показники деревно-чагарникової рослинності на ділянках полів, які потребують розліснення в теперішній час, визначені розмірні характеристики рослинності, яку необхідно видаляти з полів. Проведений підбір машин для розліснення з урахуванням вказаних факторів. Запропонована для об'єктивного вибору кращого варіанту машини для розліснення полів десятибальна шкала якісного оцінювання роботи вибраних машин.

Виконаний аналіз дослідження роботи машин за показниками якості дав можливість визначити кращий варіант для умов господарства.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Arpit K., Satish M., Mukesh J. (2018). [Performance Evaluation of Tractor PTO Operated Rotary Mulcher]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7(6): 1113-1115.
2. Dauhul, V., Aleksenko, A. (2018). Aktualni pytannia vykorystannia zemel silskohospodarskoho pryznachennia orhanamy mistsevoho samovriaduvannia [Actual issues of agricultural land use by local self-government bodies]. X.: Faktor, 176. (in Ukrainian).
3. Drapaliuk, M. V., Platonov, A. A. (2013). Suchasni mashyny ta obladnannia dlia lisovoho hospodarstva na kombinovanomu khodi [Modern machines and equipment for forestry on a combined drive]. Suchasni problemy nauky ta osvity, (3), 12. (in Ukrainian).

4. Ivashniev, M. V. (2006). Protsesy rozchyshchennia elektrychnykh povitrianykh liniy vid derevynno-chaharnykovoi roslinnosti [Processes of clearing electric overhead lines from tree and shrub vegetation]. *Novi informatsiini tekhnologii v tselulozno-paperovii promyslovosti ta enerhetychnii promyslovosti: Materialy YII mizhd. nauk.-tekhn. konf. Lviv, 55.* (in Ukrainian).
5. Kachka, T. (2021). Ukraina stala druhym u sviti eksporterom zerna [Ukraine became the world's second grain exporter]. *Vylucheno iz <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3176429-ukraina-stala-drugim-u-sviti-eksporterom-zerna.html>.* (in Ukrainian).
6. Martianych, A. V., Obolenskyi, N. V. (2015). Kulturtekhichni roboty z vidnovlennia zanedbanykh silskohospodarskykh zemel [Cultural and technical works for the restoration of abandoned agricultural lands] [Tekst]. *Nauka v Ukraini. Zahrozy ta mozhlyvosti: Zb. nauk. st. za materialamy mizhnar. nauk.-prakt. konf. – Naukova dumka, 45-48.* (in Ukrainian).
7. Petrovych, O. (2022). Viiskovi shramy na ukrainskykh poliakh, abo Yak vidnovyty ahrarnyi landshaft pislia bombarduvannia [War scars on Ukrainian fields, or how to restore the agricultural landscape after the bombing]. *Vylucheno iz <https://latifundist.com/blog/read/2884-vijskovi-shrami-na-ukrayinskih-polyah-abo-yak-vidnoviti-agrarnij-landshaft-pislya-bombarduvannya>* (in Ukrainian).
8. Pryshchepa, Y. (2022) 30% terytorii Ukrainy zaminovano [30% of the territory of Ukraine is mined] URL: <https://suspilne.media/319976-30-teritorii-ukraini-zaminovano-dsns/> (in Ukrainian).
9. Shehelman, I. R. (2013). Pidvyshchennia efektyvnosti zakhystu liniy elektroperedachi vid derevo-chaharnykovoi roslinnosti [Increasing the efficiency of protection of power lines from tree-shrub vegetation]. *Nauka ta biznes: shliakhy rozvytku. Orfei, (4 (22)). 24-26.* (in Ukrainian).
10. Soman, H., Kizha, A.R., Delgado, B.M, Kenefic, L.S., Kanoti, K. (2020). Production economics: Comparing hybrid tree-length with whole-tree harvesting methods. *For. Int. J. For. Res. (93), 389–400.* <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz065>
11. Spinelli, R.; Cacot, E.; Mihelic, M.; Nestorovski, L.; Mederski, P.; Tolosana, E. (2016). Techniques and productivity of coppice harvesting operations in Europe: a meta-analysis of available data. *Annals of Forest Science, 73:1125–1139* DOI 10.1007/s13595-016-0578-x
12. Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy u 2020 rotsi: statystychnyi zbirnyk. (2021). [Statistical yearbook of Ukraine in 2020]. Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 453. (in Ukrainian).
13. Uhmeier, A. (2015). Some fundamental aspects of wood chipping. *Tappi Journal. USA, (10), 79-86.*
14. Verani, S.; Sperandio, G.; Civitarese, V.; Spinelli, R. (2017). Harvesting mechanization in plantations for wood production: Working productivity and costs. *For. Riv. Selvic. Ecol. For., 14(4): 237-246.* DOI:10.3832/efor2389-014
15. Yele, R. (2016). Ukraina maie 30% svitovoho chornozemu ta hraie kluchovu rol u zabezpechenni hlobalnoi prodovolchoi bezpeky, – FAO [Ukraine has 30% of the world's black soil and plays a key role in ensuring global food security, – FAO] *Zemelnyi visnyk Ukrainy. Vylucheno iz <http://zemvisnuk.com.ua/page/ukra-na-ma-30-sv-tovogo-chornozemu>.* (in Ukrainian).
16. Zhyvytskyi, D. (2022). «My maiemo najbilshu protiazhnist kordonu z Rosiieiu, i praktychno kozhen kilometr vzhe obstriliani z yii terytorii» [“We have the longest border with Russia, and almost every kilometer is already under fire from its territory”] URL: <https://sumypost.com/sumynews/kordon/my-mayemo-najbilshu-protyazhnist-kordonu-z-rosiyeiu-i-praktychno-kozhen-kilometr-vzhe-obstriliany-j-z-yiyi-terytoriyi-dmytro-zhyvytskyj/> (in Ukrainian).

**Semirnenko Yu. I., PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine**

**Semirnenko S. L., PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine**

### **Research of machines for agricultural land reforestation according to quality indicators**

*Agriculture is one of the oldest industries in the world. Despite this, it remains the most sought-after branch even now.*

*Considering the fact that Ukraine is an agrarian country and according to the data provided by the Ministry of Agrarian Policy and Food in the pre-war period, it is the second country among the largest exporters of grain crops in the world.*

*Increasing the rate of production of grain crops is possible at the expense of increasing the yield, or at the expense of increasing the sown areas. An increase in cultivated areas is currently possible only due to the afforestation of fields and their cultivation. As you know, afforestation is the removal of woody shrubs on fallow lands, fields or their sections. It is believed that afforestation of fields or their plots is an effective method of increasing the land bank of the enterprise, which requires relatively small financial costs, time and labor resources. One of the main reasons for afforestation of fields is the expansion of protective forest strips due to the sowing of wood seeds, as well as forest areas adjacent to fields.*

*It is known from statistical data that in 2020 the area of self-sowing wood in the fields in Ukraine was about 200 thousand hectares. Unfortunately, after the end of the war, this area will be much larger due to hostilities and mining of fields, meadows, and other lands throughout the country.*

*In order to solve the problem of afforestation of fields, we conducted an analysis of machines for removing tree and shrub vegetation. The main qualitative indicators of the operation of these machines were determined. Research was conducted to determine these indicators for each of the machines used for afforestation of fields. As a result of the research, the best option was determined in terms of the performance quality of the machine for removing tree and shrub vegetation from the fields.*

**Key words:** cutting, removal, tree-shrub vegetation, afforestation, trunk, cutting, machines, mulcher.

## ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ІНГРЕДІЄНТІВ НА ОСНОВІ КУЛЬТИВОВАНОЇ ГРИБНОЇ СИРОВИНИ В ТЕХНОЛОГІЇ СНЕКІВ

**Янковський Роман Володимирович**

здобувач наукового ступеня доктора філософії  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-1256-9283  
romka88099@gmail.com

**Степанова Тетяна Михайлівна**

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-1256-9283  
tetiana.stepanova@snau.edu.ua

*У статті проведений аналіз щодо перспективи використання культивованої грибною сировини (КГС) в технології снекового продукції. Встановлено істотну споживчу привабливість та своєчасність розробки снеків як продукції для швидкого тамування голоду, а також такої, що володіє функціональними властивостями. Виявлено особливе значення даної продукції в період частих стресів, зумовлених військовими діями, коли організм потребує надзвичайної кількості енергії та супутніх речовин з метою максимальної адаптації та подолання кризових станів організму. Акцентовано увагу на те, що шлях збагачення традиційних харчових продуктів біологічно активними компонентами, яких не вистачає в раціоні харчування населення є на сьогодні найбільш реальним, швидким, економічно вигідним і технологічно доступним. Визначено, що інновації в технології снекової продукції дозволяють зберігати корисні властивості продукту та робити його смачнішим. Такі рішення можуть сприяти підвищенню терміну зберігання готової продукції, зокрема за рахунок внесення природних антиоксидантів. Звертається увага на підвищення харчової цінності снекової продукції двома способами: включенням до рецептури натуральних харчових інгредієнтів і збагаченням відсутніми речовинами. Зазначено доцільність використання серед грибною сировини – шампінйону двоспорового *Agaricus bisporus* як збагачувального агента. Розглянуто вплив порошку шампінйону двоспорового на органолептичні, функціонально-технологічні властивості снекової продукції. Розроблено технологічну схему нової продукції. Визначено показники її харчової цінності. В статті обґрунтовано перспективу насичення снекової продукції відсутніми функціональними інгредієнтами та покращення споживчих властивостей. Проведені дослідження довели доцільність використання КГС у кількості 15% з метою одержання продукту з високими органолептичними, допустимими фізико-хімічними показниками. Окреслено рекомендації щодо використання розробленої продукції у лікувально-профілактичному харчуванні через вміст функціональних інгредієнтів у своєму складі.*

**Ключові слова:** снеки, культивована грибна сировина, шампінйон двоспоровий, лікувально-профілактичне харчування, функціональні властивості, харчова цінність, збагачення.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.1.14>

**Вступ.** Забезпечення організму людини здоровими продуктами харчування є одним із ключових завдань сьогодення. Як відомо, здоров'я людини майже на 40–45% залежить від якості продуктів харчування, їх харчової, енергетичної та біологічної цінності, тоді як від інших чинників – 19–24%, генетики людини – 18%; охорони здоров'я – 10%; чинників довкілля – 8% (Zubar, 2010).

Людина потребує надходження їжі не лише повноцінної за нутрієнтним складом, а і збагаченою інгредієнтами, які виконують в організмі певну функцію, зокрема попереджують виникнення захворювань, покращують стан здоров'я людини в цілому. Це набуває особливого значення в період частих стресів, зумовлених військовими діями, оскільки організм потребує надзвичайної кількості енергії та супутніх речовин з метою максимальної адаптації та подолання кризових станів організму. Істотною необхідністю є виробництво харчових продуктів, призначених для швидкого тамування почуття

голоду – зокрема, снеків, що нададуть можливість людині миттєво насититися запасом поживних речовин. Особливо слід відмітити, що швидкі закуски не є повноцінною стравою. Хоча ситні продукти можна вживати окремо від основних прийомів їжі. Тому, особлива увага звертається на вміст в такій продукції компонентів, що володіють при споживанні з максимально позитивним ефектом для організму людини, оскільки швидкий перекус повинен бути також і корисним.

Виробництво снекової продукції має на меті включення до рецептурного складу функціональних харчових продуктів згідно вимог нутріціології, рівно як і надходження незамінних поживних речовин.

Завдяки досягненням сучасної медицини існує можливість правильно оцінити роль харчування в здоров'ї людини, а також функції окремих макро- і мікронутрієнтів, при цьому сформулювати вимоги до складу, якості і безпеки харчових продуктів. Сьогодні науковцями в галузі харчування в більшості країн світу особлива



увага звертається на виробництво продукції, що здатна витримувати стан здоров'я споживачів на належному рівні, рівно як і знижувати ризик ряду захворювань.

Шлях збагачення традиційних харчових продуктів тими біологічно активними компонентами, яких не вистачає в раціоні харчування населення є на сьогодні найбільш реальним, швидким, економічно вигідним і технологічно доступним. Різноманітні визначення оздоровчих функціональних продуктів, що означені іноземними та вітчизняними авторами підкреслюють специфічну особливість оздоровчих продуктів, а також їх здатність на молекулярному і клітинному рівнях забезпечувати ефективно протікання всіх метаболічних процесів у живому організмі. Саме в цьому є основний критерій віднесення певних харчових продуктів до категорії функціональних (Shemeta, Dozhuk, 2015).

Інновації в технології снекової продукції дозволяють зберігати корисні властивості продукту та робити його смачнішим. Такі рішення можуть сприяти підвищенню терміну зберігання готової продукції, зокрема за рахунок внесення природних антиоксидантів (Ramadan, 2020).

Шлях підвищення харчової цінності снекової продукції може досягатися двома способами: включенням до рецептури натуральних харчових інгредієнтів і збагаченням відсутніми речовинами.

Серед таких продуктів – КГС, що володіє високою біологічною та харчовою цінністю, а також має лікувальні властивості (Zięba, Sęka, Sułkowska-Ziaja & Muszyńska, 2020).

**Матеріали і методи досліджень.** Матеріали дослідження: вхідна сировина, що входить до рецептури снєків. Усі продукти відповідають вимогам діючих нормативних документів.

Органолептичні показники зразків снєків із використанням КГС визначали методом бальної оцінки (Hladky, 2018). При оцінювалася низка якісних показників за прийнятою багатобальною системою з урахуванням коефіцієнтів вагомості (значущості). За цим методом результат виражався балом шкали, що відповідає різним рівням якості.

Основою системи бальної оцінки снекової продукції була проста залежність між якістю і відповідною їй оцінкою в балах. Було проведено їх абсолютну та відносну порівняльну оцінку.

Масову частку вологи та сухих речовин визначали згідно (DSTU 4910:2008), лужність згідно (DSTU 5024:2008).

**Результати досліджень.** Шлях підвищення харчової цінності снекової продукції може досягатися двома способами: включенням до рецептури натуральних харчових інгредієнтів і збагаченням відсутніми речовинами (Andrade, 2020).

Серед таких продуктів – КГС, що володіє високою біологічною та харчовою цінністю, а також має лікувальні властивості. Грибна сировина досить широко представлена на світовому ринку, при чому, найбільш популярними є культивовані, медичні та дикорослі гриби. Спираючись на дані Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, вирощування грибів у всьому

світі в 2022 році становило приблизно 9,2 мільйони тон (Hajjoun, Bo, Stepanova&Kondratjuk, 2022).

КГС широко представлена на сучасному ринку зокрема такими видами як шампіньон двоспоровий *Agaricus bisporus*, глива звичайна *Pleurotus ostreatus*, шиїтаке *Lentinula edodes*, енокітаке *Flammulina velutipes* тощо. Ця сировина має збалансований нутрієнтний склад, високу швидкість росту, при цьому не вимагає високовартісне обладнання для вирощування. Гриби також легко піддаються обробці, мають приємний смак і аромат у готовому вигляді за рахунок значного вмісту екстрактивних речовин (Mattila, 2000). Досить цінною харчовою сировиною культивовані гриби також є завдяки їх лікувальним властивостям (Wani, 2010).

Серед різноманіття КГС, яка широко культивується в Україні, особливої уваги заслуговує печериця двоспорова (*Agaricus bisporus*), або шампіньон, що є найбільш широко вирощуваним і споживаним грибом у всьому світі, на нього припадає приблизно 40% світового виробництва (Owaid, 2017).

Важливою складовою сухої речовини КГС є білок, тоді як вуглеводи становлять основну частину їх плодівих тіл, а вміст жиру в них дуже низький (Wani, 2010). Враховуючи вирішальну роль, яку мінерали відіграють у біологічному процесі та метаболізмі, а також їх терапевтичне використання в дієтичних добавках, *Agaricus bisporus*, зокрема має особливо високий вміст фосфору, натрію та калію, а потім кальцію, магнію, натрію, заліза та цинку, порівняно з іншими видами КГС (Ren, Guo, Meydani & Wu, 2008).

Завдяки високій харчовій цінності КГС *Agaricus bisporus* володіє суттєвим лікувальним ефектом. Це дозволяє віднести їх до нутрицевтиків (Basu, Thomas & Acharya, 2007) завдяки проявам антиоксидантної та імунomodуючої дії (Kozarski, Klaus, Niksic, Jakovljevic, Helsper & Griensven, 2011), метаболічної дії (Zheng, Jie, Hanchuan & Moucheng, 2005), протиракової активності (Chen, Oh, Phung, Hur, Ye & Kwok, 2006), антихолестеринемічної та антиглікемічної дії (Jeong, Jeong, Yang, Islam, Kooyalamudi & Pang, 2010), протизапальної активності (Moro, Palacios & Lozano, 2012). Вченими (Ren, Guo, Meydani & Wu, 2008) відмічено посилення дозрівання дендритних клітин кісткового мозку при споживанні продукції, що містить порошок *Agaricus bisporus*, а також сприятлива дія на кишечник (Kawakami, Araki, Ohba, Sasaki, Kamada & Shimada, 2016), антимікробну дію (Komura, Carbonero, Gracher, Baggio, Freitas & Marcon, 2010).

Все вище наведене вказує на доцільність застосування даного виду КГС в технології снекової продукції.

**Обговорення.** Розробка технології снекової продукції здійснювалось на підставі аналізу науково-практичних джерел, що спрямовані вирішення проблем щодо забезпечення надходження корисних інгредієнтів до організму людини з КГС. КГС вносились до снєків у вигляді порошку, що вносили замість пшеничного борошна в кількості від 5% до 25% з кроком 5%. Результати органолептичної оцінки представлені в табл. 1.

## Органолептичні показники снєків

Найменування показнику	Вміст порошку КГС, %					
	0	5	10	15	20	25
Смак і запах	Виразений, без сторонніх присмаку і запаху			Грибний	Виразений грибний, гіркуватий післясмак	
Форма	Різноманітна, не розпливчаста					
Поверхня	Гладка, не підгоріла.					
Колір	Рівномірний світло-коричневий			Нерівномірний, від світло до темно-коричневого		
Вид на зломі	Пропечене з пористою структурою, без слідів непромісу					

Як видно з таблиці 1, всі зразки мали задовільні зовнішній вигляд, смак та запах. Під час додавання від 5% до 10% порошку КГС колір снєків незначно змінювався, але у межах допустимої норми. При додаванні 15% КГС у снєків з'явився світло-коричневий колір та снєки набули грибного смаку і запаху. Під час додавання 20% та вище порошку КГС з'являвся більш явний присмак і запах. Відчувався гіркуватий післясмак. Незалежно від дозування КГС, снєки були пропеченими, без слідів непромісу і з пористою структурою.

Фізико-хімічні показники снєків із порошком КГС наведено на рис. 1.

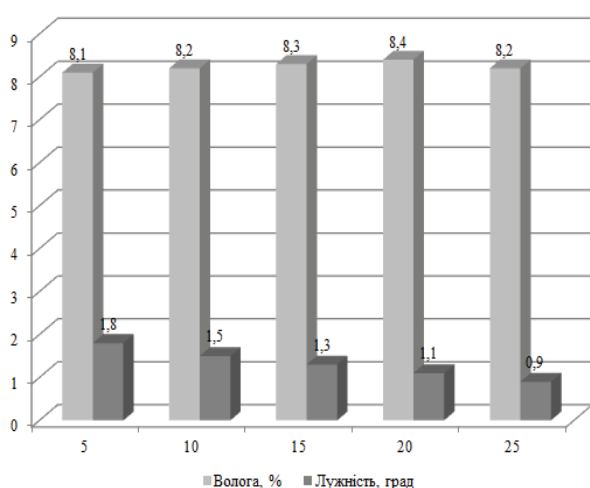


Рис. 1. Фізико-хімічні показники снєків із порошком КГС

Згідно з вимогами нормативної документації вологість снєків не повинна перевищувати  $8 \pm 1,5\%$ . Заміна частини пшеничного борошна на порошок КГС не вплинуло суттєво на масову частку вологи у готовому продукті, що склала 8,1...8,4%. Лужність снєків із додаванням КГС знижувалась. Проведені дослідження показали, що КГС має унікальний склад та володіє лікувально-профілактичними властивостями. Крайшм та доцільним варіантом внесення порошку КГС до рецептури снєків є кількість 15%. Технологічну схему снєків із додаванням порошку КГС наведено на рис. 2.

Функціонування окремих підсистем під час виробництва снєків із використанням КГС наведено в табл. 2.

Як бачимо з таблиці 3, поступовий перехід від однієї підсистеми до іншої надає одержання кінцевого продукту із заданими властивостями та можливістю контролю фізико-хімічних змін на різних стадіях виробництва.

Визначальними показниками, що формують споживчі властивості готового продукту, а також сприяють його засвоєнню є харчова та енергетична цінність. Вміст компонентів, що формують харчову та енергетичну цінність розробленого продукту – снєків із порошком КГС наведено в таблиці 4.

Як видно з таблиці 3, розроблені снєки з використанням порошку КГС володіють високими показниками харчової цінності, зокрема, характеризуються значним вмістом білку, а також вітамінів та мінеральних речовин, що є досить визначальним щодо рекомендації даної продукції в функціональному харчуванні.

## Структура технологічної системи виробництва снєків із використанням КГС та мета її функціонування

Підсистема	Мета, яка досягається	Фізико-хімічні зміни
A	Утворення готового виробу	Отримання готової страви з визначеними властивостями та складом
B <sub>1</sub>	Вистоювання	Формування структури
B <sub>2</sub>	Теплова обробка виробу	Меланоїдиноутворення, карамелізація цукрів, декстринізація крохмалю
B <sub>3</sub>	Приготування тіста	Гідратація і набрякання білків, утворення клейковини, перерозподіл вологи між компонентами тіста.
C <sub>1</sub>	Підготовка сухих рецептурних компонентів	Видалення сторонніх домішок, аерація
C <sub>2</sub>	Підготовка вологих рецептурних компонентів	Видалення сторонніх домішок

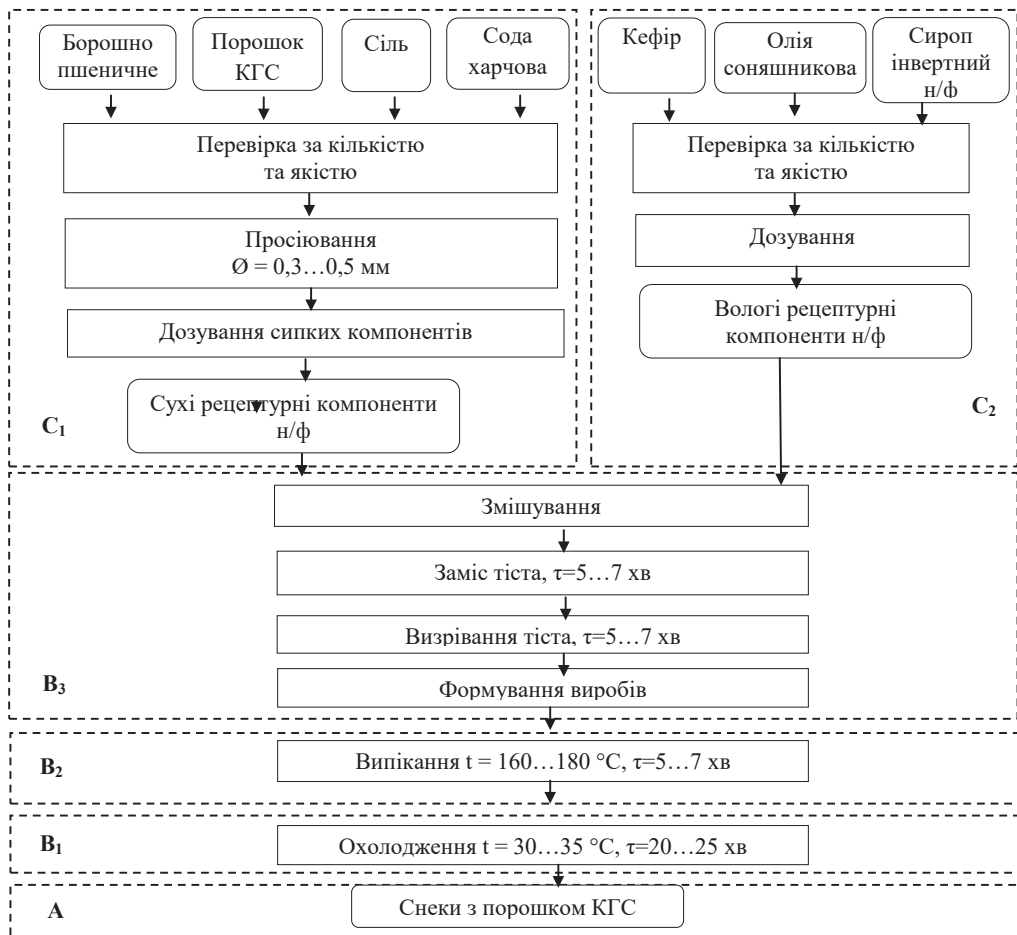


Рис. 2. Технологічна система снєків із порошком КГС

Таблиця 3

Характеристика харчової цінності снєків із порошком КГС

Показник	Вміст г/100 г продукту
Білки	9,1
Вуглеводи	63,2
Харчові волокна	2,4
Жири	18,6
Вітаміни, мг	
Вітамін В <sub>1</sub>	0,1
Вітамін В <sub>2</sub>	0,3
Вітамін С	7,8
Вітамін Е	0,4
β-каротин	0,11
Мінеральні речовини, мг	
Калій	114
Кальцій	32
Фосфор	68
Магній	4,8
Залізо	1,5
Молібден	2,8
Селен	11,8

**Висновки.** Отже, снєки користуються значною популярністю серед населення, що набуває суттєвого значення у період військового стану, завдяки спожи-

ванню на ходу та здатності швидко тамувати почуття голоду. Використання у виробництві снєків для додатково збагачення КГС дозволить наситити їх відсутніми

функціональними інгредієнтами та покращити споживчі властивості. Проведені дослідження довели доцільність використання КГС у кількості 15%, що дозволило одержати продукт із високими органолептичними, допу-

стимими фізико-хімічними показниками, що також може бути рекомендований у лікувально-профілактичному харчуванні через вміст функціональних інгредієнтів у своєму складі.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Andrade, D. (2020). Influence of Food Education on the quality of snacks of middle school children, *European Journal of Public Health*, 30 (2), doi: 10.1093/eurpub/ckaa040.065
2. Basu, S.K. Thomas, J.E. & Acharya S.N. (2007). Prospects for Growth in Global Nutraceutical and Functional Food Markets: A Canadian Perspective. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(4).
3. Chen S, Oh S.R., Phung S., Hur G., Ye J.J. & Kwok S.L. (2006). Anti-aromatase activity of phytochemicals in white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Cancer Res*, 66. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-06-220
4. DSTU 4910:2008 Vyroby kondyterski. Metody vyznachennia masovykh chastok volohy ta sukhykh rehovyn. [Confectionery products. Methods of determination of moisture and dried matter content]. Kyiv: DerzhStandart Ukrainy, 12 p. (in Ukrainian).
5. DSTU 5024:2008 Vyroby kondyterski. Metody vyznachennia kyslotnosti ta luzhnosti. [Confectionery products. Methods of determination acidity and alkalinity]. Kyiv: DerzhStandart Ukrainy, 10 p. (in Ukrainian).
6. Haijuan N., Bo L., Stepanova T. & Kondratjuk T. (2022). Modern achievement of food science in aspects of cultivated mushrooms application in food technology. *Oldi+*, 110 p.
7. Hladkyi, F. (2018). Sensornyi analiz kharchovykh produktiv [Sensory analysis of food products]. Kharkiv: Tekhnolohichniy tsentr, 131 p.
8. Jeong S.C., Jeong Y.T., Yang B.K., Islam R., Koyyalamudi S.R. & Pang G. (2010). White button mushroom (*Agaricus bisporus*) lowers blood glucose and cholesterol levels in diabetic and hypercholesterolemic rats. *Nutr Res*, 30, pp.49-56. doi: 10.1016/j.nutres.2009.12.003
9. Kawakami S., Araki T., Ohba K., Sasaki K., Kamada T. & Shimada K. (2016). Comparison of the effect of two types of whole mushroom (*Agaricus bisporus*) powders on intestinal fermentation in rats. *Biosci Biotechnol Biochem*, 80, pp. 2001-2006. doi: 10.1080/09168451.2016.1196573.
10. Komura D.L., Carbonero E.R., Gracher A.H., Baggio C.H., Freitas C.S. & Marcon R. (2010). Structure of *Agaricus* Spp. Fucogalactans and their anti-inflammatory and antinociceptive properties. *Bioresour Technol*, 101, pp. 6192-6199. doi: 10.1016/j.biortech.2010.01.142
11. Kozarski M., Klaus A., Niksic M., Jakovljevic D., Helsen J., Griensven L. (2011). Antioxidative and immunomodulating activities of polysaccharide extracts of the medicinal mushrooms *Agaricus bisporus*, *Agaricus brasiliensis*, *Ganoderma lucidum* and *Phellinus linteus*. *Food Chemistry*, 129(4), pp. 1667-1675. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.06.029
12. Mattila, P. (2000). Functional Properties of Edible Mushrooms, *Nutrition*, 16. doi: 10.1016/s0899-9007(00)00341-5
13. Moro C., Palacios I. & Lozano M. (2012). Anti-inflammatory activity of methanolic extracts from edible mushrooms in LPS activated RAW 264.7 macrophages. *Food Chem*, 130, pp. 350-355. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.07.049
14. Owaid, M.N., Barish, A. & Ali Shariati, M. (2017). Cultivation of *Agaricus bisporus* (button mushroom) and its usages in the biosynthesis of nanoparticles, *Open Agriculture*, 2 (1), doi:10.1515/opag-2017-0056
15. Ramadan, I. (2020). Functional Foods and their impact in attracting Customers to Egyptian Hospitality firms. *Journal of Association of Arab Universities for Tourism and Hospitality*. 18(2). doi: 10.21608/JAAUTH.2020.32469.1033
16. Ren Z., Guo Z., Meydani S.N. & Wu D. (2008). White button mushroom enhances maturation of bone marrow-derived dendritic cells and their antigen presenting function in mice. *J Nutr*, 138, doi: 10.1093/jn/138.3.544
17. Shemeta, O.O. & Dozhuk, K.M. Funktsionalne kharchuvannia – novyi pidkhid do zdorovoho sposobu zhyttia [Functional nutrition is a new approach to a healthy lifestyle] *Liky Ukrainy*, 1(86), pp. 24-27. (in Ukrainian).
18. Wani, B.A. (2010). Nutritional and medicinal importance of mushrooms. *Journal of medicinal plant research*. 4(24). doi:10/5897/JMPR09.565
19. Zheng R, Jie S, Hanchuan D, Moucheng W. (2005). Characterization and immunomodulating activities of polysaccharide from *Lentinus edodes*. *Int Immunopharmacol*, 5, pp. 811-820. doi: 10.1016/j.intimp.2004.11.011
20. Zięba, P., Sękara A., Sułkowska-Ziaja K. & Muszyńska B. (2020). Culinary and Medicinal Mushrooms: Insight into Growing Technologies. *Acta Mycologica*, 55(2), doi: 10.5586/am.5526
21. Zubar, N. (2010). *Osnovy fiziologii ta hihieny kharchuvannia* [Basics of physiology and food hygiene]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 336 p. (in Ukrainian).

**Yankovskiy R. V.**, Postgraduate student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Stepanova T. M.**, PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Prospective use of functional ingredients based on cultivated mushroom raw material in snacks technology**

The article analyzes the prospects for the use of cultivated mushroom raw materials (CMRM) in the technology of snack products. The significant consumer appeal and timeliness of the development of snacks as products for quick hunger relief, as well as those with functional properties, have been established. The special importance of this product was revealed in the period of frequent stresses caused by military actions, when the body needs an extraordinary amount of energy and related substances in order to maximize adaptation and overcome crisis states of the body. Attention is focused on the fact that the way of enriching traditional food products with biologically active components, which are lacking in the diet of the population, is currently the most real, fast, economically beneficial and technologically available. It was determined that innovations in the technology of snack products make it possible to preserve the useful properties of the product and make it tastier.



*Such solutions can contribute to increasing the shelf life of finished products, in particular due to the introduction of natural antioxidants. Attention is drawn to increasing the nutritional value of snack products in two ways: by including natural food ingredients in the recipe and by enriching with missing substances. The effect of champignon powder on the organoleptic, functional and technological properties of snack products is considered. A technological scheme of new products has been developed. The indicators of its nutritional value have been determined. The article substantiates the prospect of saturation of screw products with missing functional ingredients and improvement of consumer properties. The conducted studies proved the expediency of using CMRM in the amount of 15% in order to obtain a product with high organoleptic, permissible physico-chemical indicators. Recommendations for the use of the developed products in therapeutic and preventive nutrition due to the content of functional ingredients in their composition are outlined.*

**Key words:** *snacks, cultivated mushroom raw material, two-spored champignon, therapeutic and preventive nutrition, functional properties, nutritional value, enrichment.*