

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 4 (50), 2022

ЗМІСТ

| | |
|--|--|
| Редакційна колегія серії Зубко В.М. , доктор технічних наук, головний редактор, Сумський національний аграрний університет (Україна) Тарельник В.Б. , доктор технічних наук, професор, заступник головного редактора, Сумський національний аграрний університет (Україна) Думанчук М.Ю. , кандидат технічних наук, відповідальний секретар, Сумський національний аграрний університет (Україна) Антошевський Богдан , доктор технічних наук, Кельцький технологічний університет (Польща) Кундера Чеслав , доктор технічних наук, професор, Кельцький технологічний університет (Польща) Кирик Г.В. , доктор технічних наук, Сумський національний аграрний університет (Україна) Лобода В.Б. , кандидат фізико-математичних наук, Сумський національний аграрний університет (Україна) Коноплянченко Є.В. , кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) Гапонова О.П. , доктор технічних наук, професор, Сумський державний університет (Україна) Хінек Рубік , кандидат технічних наук, Чеський університет наук про життя (Чехія) Девід Херак , кандидат технічних наук, Чеський університет наук про життя (Чехія) Шуляк М.Л. , доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) Харченко С. О. , доктор технічних наук, професор, Полтавський державний аграрний університет (Україна) Лебедєв А.Т. , доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) Соларьов О.О. , кандидат технічних наук, Сумський національний аграрний університет (Україна) Роговський І.Л. , доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна) Оничко В. І. , кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) Мельник А. В. , доктор сільськогосподарських наук, Сумський національний аграрний університет (Україна) Троценко В. І. , доктор сільськогосподарських наук, професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) Перцевой Ф. В. , доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет (Україна) Сабадаш С.М. , кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) Мазуренко І. К. , доктор технічних наук, старший науковий співробітник, академік Академії вищої освіти України, Сумський національний аграрний університет (Україна) Сильчук Т.А. , доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій (Україна) Мельник О.Ю. , кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) Бо Лі , доктор філософії, професор, Хенанський інженерно-дослідний центр переробки фруктів і овочів та контролю безпеки якості Хенанського науково-технічного інституту (Китай) Паван Кумар , доктор філософії (тваринництво), Науковий університет, Університет ветеринарії та тваринництва Гуру Ангада Дев (Малайзія) Бондаренко Ю.В. , кандидат технічних наук, Національний університет харчових технологій (Україна) Самілик М.М. , кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет (Україна) Назаренко Ю.В. , кандидат технічних наук, Сумський національний аграрний університет (Україна) | Wu Qiuna, Melnyk Oksana Improving the technology of sauces using vegetable and berry raw materials..... 3 Валієв Т.О., Поліщук В.М. Біогазова установка сільськогосподарського машинобудування метанового бродіння бурякового жому..... 8 Гненко М. В. Експлуатаційне забезпечення безвідмовності рамних конструкцій кормозбиральних комбайнів..... 15 Дворник А. В. Аналітичне моделювання руху структурного агрегату ґрунту робочою поверхнею глибокорозпушувача..... 24 Задорожнюк Д. В. Алгоритмічність сезонної безвідмовності гідросистем зернозбиральних комбайнів..... 31 Кошель О.Ю., Мазуренко І.К., Сабадаш С.М. Перспективи покращення біологічної цінності бісквітних виробів у закладах ресторанного господарства..... 40 Кравченко В.В., Войткі А.В., Пушка О.С., Кутковецька Т.О. Перспективи поєднання гідравлічного та електричного приводу в мобільних сільськогосподарських машинах 46 Кузьмич І. М. Експлуатаційні витрати в процесі технічного обслуговування при зберіганні зернозбиральних комбайнів..... 54 Любченко І. С. Рівень виконання повноти технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів..... 61 Ничай І. М. Моделювання рівня машинвикористання зернозбиральних комбайнів мережею функціональних ланцюгів масового обслуговування..... 71 |
|--|--|



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

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»,
208 «Агроінженерія»)
на підставі Наказу Міністерства
освіти і науки України № 1188
від 24.09.2020 (додаток 5)

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 № 9 від 27.12.2022 р.)

Видавництво і друкарня –
Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса,
вул. Інглєзі, 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. № 0423/224

© Сумський національний
аграрний університет, 2022

| | |
|--|-----|
| Приходько В. П., Пуховський Є. С., Данилова Л. М., Лапковський С. В., Гаврушкевич Н. В. Визначення та урахування величини взаємокомпенсації похибок при прогнозуванні точності оброблення на верстатах з ЧПК..... | 78 |
| Пуховський Є. С., Фролов В. К., Приходько В. П., Бецко Ю. М. Технологія фінішного оброблення станин металорізальних верстатів..... | 86 |
| Рижкова Т. М. Покращення смаку та аромату білкової маси, отриманої в процесі виробництва біопрепарату «СПХ-Б»..... | 94 |
| Самілик М. М., Шешеня І. О. Розроблення раціонального способу переробки плодів обліпихи..... | 98 |
| Синенко Т. П., Болгова Н. В. Розробка натуральної смакоароматичної добавки «Meat flavor»..... | 103 |
| Сівак І. М. Інженерний менеджмент технологічних параметрів агротехніки виробництва зернових культур системотехніки рослинництва..... | 111 |
| Skuibida Olena Implementation of Industry 4.0 and circular economy strategies in aluminum scrap processing..... | 119 |
| Тітова Л. Л. Інженерний менеджмент моніторингу технічної готовності зернозбирального комбайна на ефективність його машиновикористання..... | 127 |
| Швидун О. В., Роговський І. Л. Незалежність параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією..... | 137 |
| Яблонський П. М. Особливості конструкції пружинного запобіжного пристрою сошників для прямої сівби..... | 144 |
| Калінін Є. І., Колодненко В. М. Оцінка надійності елементів трансмісії вантажного автомобіля при дії змінного навантаження..... | 149 |

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF SAUCES USING VEGETABLE AND BERRY RAW MATERIALS

Wu Qiuna

Master

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0009-0003-5841-1507

pumpkin05055@gmail.com

Melnyk Oksana

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: 0000-0002-9201-7955

oxana7@i.ua

In developed areas, with the accelerated pace of life, the pressure of work is increasing, and the number of sub-healthy people is increasing. People begin to pay attention to health care. With the enhancement of people's awareness of health care and the pursuit of nutritious food, chia seeds have gradually become a hot spot in the field of food research.

Chia seeds have a long history of being edible, and they have been paid attention to and utilized in China in recent years. The active ingredients of chia seeds mainly include fatty acids, phenolic flavonoids, protein, dietary fiber, vitamins and minerals, which have anti-oxidation, blood lipid regulation, blood pressure regulation, blood sugar regulation, creatine kinase reduction, anti-inflammatory disinfection and other physiological functions effect.

In this study, cherries and purple cabbage were used to improve the sauce technology. Cherries and purple cabbage were used as the main raw materials, and chia seeds and other auxiliary materials were added to it, and the optimal formula of fruit and vegetable sauce was studied from the aspect of formula. By designing a single factor test and an orthogonal test, the comprehensive sensory evaluation of different raw and auxiliary materials on fruit and vegetable sauces was studied, and the best formula for making fruit and vegetable sauces was 160 grams of cherries, 110 grams of purple cabbage, 6 grams of chia seeds, 60 grams of 1.5 grams of white sugar, 1.5 grams of pectin, and 7 grams of lemon juice. The fruit and vegetable sauce produced by this formula has moderate sweetness and sourness, good color, unique flavor, good spreadability and good stability.

Among the main functional ingredients of the product, dietary fiber is the most abundant. Adequate intake of dietary fiber can reduce the postprandial blood sugar level of diabetic patients, and at the same time reduce the risk of postprandial hyperlipidemia, hyperinsulinemia and other chronic diseases.

The shelf life is very important for food manufacturers and consumers. This study uses the classic constant temperature accelerated test method, and according to the ALST test (shelf life test), the shelf life of the fruit and vegetable sauce is 300d.

Key words: cherry, purple cabbage, chia seeds, fruit and vegetable sauce.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.1>

Introduction. At present, many countries in the world regard "functional food" as an important way and measure to solve social aging, prevent various adult diseases and reduce medical expenses.

Berries are rich in vitamins and minerals which can supplement the nutrients needed by the human body in time, promote human metabolism and energy metabolism, and are beneficial to health. The main nutritional value of vegetables is to provide the human body with a variety of vitamins, minerals and dietary fiber. Besides being rich in vitamins and minerals, it is also rich in various organic acids, aromatic substances and pigments.

Currently on the market, there are already products related to chia seeds. However, functional jams using it as a functional ingredient have not yet become popular in the market. Chia seed is a kind of health food with multiple health functions. It is a health food for longevity and has a certain preventive effect on high blood pressure and cancer. The potential market demand for its products is huge.

In this context, functional fruit and vegetable sauces added with chia seeds have broad development space and

prospects, and also bring new development opportunities for functional foods.

At present, the research on jam is mainly focused on the research of jam technology and formula. In addition, the choice of thickener in the development of jam, the influence of different concentrations of temperature and ultra-high pressure treatment on the quality of jam, how to prevent browning during jam processing, It is also the main direction of its research.

In this study, fresh fruits and vegetables were used as raw materials, and sugar, acid, thickener and other auxiliary materials were added at the same time, and the gelatinous food was processed through a series of processes such as softening, peeling and concentration. At present, the research on it is mainly focused on the research on technology and formula.

Except adopting above-mentioned single kind of vegetable and fruit to develop jam, also have many to adopt multiple vegetables and fruit to carry out the development of compound jam. Tian Yu et al. (Tian Yu. et al, 2013) used single factor experiments, orthogonal experiments and response analysis experiments to analyze and study the key

factors affecting jams made of bananas, apples, hawthorns, and carrots. Geng Nan et al. (Geng Nan. et al, 2018) pre-cooked hawthorn and red dates to soften them, determined the thickener according to the change of the gel strength value of the jam, and completed the development of hawthorn, red dates and jam through a combination of single factor and orthogonal experiments. This study uses cherries, purple cabbage and chia seeds as the main materials. Among them, cherries are very popular because of their sweet and sour taste. In addition to being used directly, they are often used to be processed into cherry jam. Purple cabbage and chia seeds are less studied when it comes to making sauces. The following lists some research experiments on them at home and abroad and some other researches on fruit and vegetable sauces.

Chu Weiyuan (Chu Weiyuan, 2002, p. 41-44) uses shiitake mushrooms, orange peels, and pumpkins as the main raw materials, through orthogonal experiments to scientifically optimize the formula, and adopts a new technology of vacuum concentration to develop a low-cost, high-efficiency soft canned shiitake mushroom fruit and vegetable sauce. Hou Lanfang, Li Yujie and others (Hou Lanfang, Li Yujie, 2019, p. 10-12+16) used hawthorn, carrot and bitter melon as raw materials to study low-sugar vegetable jam, and determined the best formula of jam through single factor test and orthogonal test.

The jam is bright in color and the sauce is fine and uniform, which can maintain the unique flavor of the fruit to a certain extent and is rich in nutrients, such as dietary fiber, calcium, potassium, zinc and other mineral elements. In addition, jam is also rich in pectin, which can prevent and reduce the absorption of lead and mercury in the intestine, and can be combined with lead in the gastrointestinal tract and excreted with feces, which has a very positive effect on controlling the level of lead in the human body. Pectin is also beneficial for gastrointestinal ulcers and other conditions, such as the gastrointestinal tract of infants and young children. In addition, with the enhancement of people's health awareness, in recent years, jams with health functions have been developed in large quantities, such as banana jam rich in dietary fiber, carrot jam, etc., which are very popular among consumers (Wei Ping, You Xiangrong, Zhang Yayuan, et al., 2016, p. 63-67).

Chia seeds are rich in essential fatty acid α -linolenic acid, a variety of antioxidant active ingredients (chlorogenic acid, caffeic acid, myricetin, quercetin, kaempferol, etc.), is a source of natural omega-3 fatty acids, and contains Rich in dietary fiber, protein, vitamins, minerals, etc. (Loreto A. Munoz et al., 2013, p. 394-408).

There are already examples of adding chia seeds as functional ingredients in food production on the market. This research hopes to develop a functional fruit and vegetable sauce, so by adding functional chia seeds to the fruit and vegetable sauce to achieve Purpose. The developed fruit and vegetable sauce is rich in dietary fiber and is suitable for dieters and people with chronic diseases.

Materials and Methods. Cherries comply with GB/T 26906-2011; purple cabbage complies with NY/T 746-2020; chia seeds comply with Q/MBBL 0005 S-2017. The same batch of fresh raw materials is used, and the brand, specification and manufacturer of each raw material are marked. Firstly, the optimal formula of fruit and vegetable sauce is determined through single factor test and orthogonal test, and then a series of experiments are carried out to determine the optimal formula. Determination of moisture content adopt the second method of GB 5009.3-2016 "Determination of Moisture in Food". Determination of reducing sugar of GB 5009.7-2016 "Determination of Reducing Sugar in Food" is adopted direct titration method. Determination of soluble solid content according to GB/T 10786-2006 "Testing methods for canned food", the refractometer method is used. Determination of acidity adopt the acid-base indicator titration method.

Results and Discussion. The production of functional fruit and vegetable sauce with berries and vegetables as main raw materials meets the new demands of people's diet. In addition, mixing gel substances with fruits, vegetables, sugar and acidity regulators to make fruit and vegetable sauces is a way to preserve fruits and vegetables for a long time. The natural fruit acid contained in it can promote the secretion of digestive juice, enhance appetite and help digestion. In addition, it can also increase pigment, which has an auxiliary effect on iron deficiency anemia.

The main materials of this study are cherries, purple cabbage and chia seeds, and the nutritional components of the three are shown in Table 1.

Table 1

Nutritional composition of cherries, purple cabbage and chia seeds

| Project | Cherry | Purple cabbage | Chia seeds | |
|-----------------------------|---|----------------|------------|------|
| | Nutrient content (content in 100 grams of edible portion) | | | NRV% |
| Eenergy | 194kJ | 89kJ | 1808kJ | 22% |
| Protein | 1.1g | 1.1g | 21.5g | 36% |
| Fat | 0.2g | 0.3g | 31.1g | 52% |
| Carbohydrate | 10.2g | 3.7g | 0g | 0% |
| Dietary fiber | 0.3g(Insoluble) | 2.5g | 36.5g | 146% |
| Sodium | 8mg | 8mg | 0mg | 0% |
| Polyunsaturated fatty acids | | | 19.3g | |

Cherries comply with GB/T 26906-2011;

Purple cabbage complies with NY/T 746-2020;

Chia seeds comply with Q/MBBL 0005 S-2017

The nutritional value of cherries are: the iron content of cherries is particularly high, cherries are rich in nutrition, have the functions of regulating the middle and replenishing qi, invigorating the spleen and stomach, and dispelling rheumatism, people with indigestion, paralysis, rheumatism, waist and leg pain, weak constitution and dull complexion are suitable for consumption, cyanide acid in wild cherry exists in a large number of seeds and fruits (so this kind of fruit should not be eaten more).

A variety of purple cabbage in the genus *Brassica oleracea*. Cabbage originated from the European Mediterranean coast to the North Sea and has been cultivated for thousands of years.

Purple cabbage is known as the "poor man's doctor." It is a high-quality anti-cancer vegetable, containing more water, rich in protein, fat, carbohydrates, dietary fiber, carotene, and various vitamins and minerals such as calcium, phosphorus, iron, potassium, sodium, chlorine, etc.

Chia seeds, originated in Mexico and Guatemala, angiosperms, dicotyledons, Lamiales, Lamiaceae, *Salvia* genus, are the seeds of Chia sage. The edible history of chia seeds is very long. In recent years, as people's awareness of health care continues to increase, the demand for healthy and nutritious food continues to increase, and chia seeds have become a new hot spot.

Chia seeds contain a large amount of dietary fiber, crude protein, trace elements, and minerals, etc., and the ingredients

are relatively complex. At present, there are many active ingredients that have been studied at home and abroad.

In order to explore the interrelationships among various factors, the most critical influencing factors and levels in the single factor experiment were taken to conduct an orthogonal experiment. Scoring criteria for the quality of fruit and vegetable sauces are shown in Table 2.

The factor levels are shown in Table 3.

The classical constant temperature accelerated test method was adopted. The determination of food shelf life is an important part of the food development process and food production system (Ren Yani, Che Zhenming, Jin Xue-min, et al., 2011, p. 156-158). While providing a reference for manufacturers to launch new products, it also ensures the safety and health of consumers.

According to the single factor test results of the recipe, it can be known that the addition of cherries, purple cabbage, chia seeds, and white sugar are the key factors affecting the sensory evaluation of fruit and vegetable sauces.

According to the results of the single factor test, the orthogonal table 10 is listed. The results of the orthogonal test are as follows shown in Table 4.

The results of the orthogonal test showed that the primary and secondary order of the influence of key ingredients on the sensory evaluation of fruit and vegetable sauces was cherry>purple cabbage>white sugar>chia seeds. From the perspective of sensory evaluation, the best formula for fruit

Table 2

Scoring criteria for the quality of fruit and vegetable sauces

| Scoring items | Sensory Evaluation Criteria | Score |
|--------------------------|--|-------|
| | Sweet and sour, delicate taste | 20-30 |
| Taste (30) | Sour or sweet, poor taste | 10-19 |
| | The ratio of sweet and sour is not harmonious, and the taste is rough | 1-9 |
| | The sauce body is uniform, the gel is good, no sugar or water is precipitated | 20-30 |
| Organization Status (30) | The sauce body is uniform, the gel is good, and a small amount of sugar and water are precipitated | 10-19 |
| | The sauce body is uneven, the gel is poor, and a lot of sugar and water are precipitated | 1-9 |
| | Blended scents harmonize and smell fresh | 10-15 |
| Aroma (15) | The mixed fragrance is unnatural and has a peculiar smell | 5-9 |
| | Poor mixed aroma and peculiar smell | 1-4 |
| | Deep reddish purple, the color of the sauce body is even and natural, shiny | 10-15 |
| Color (15) | It is reddish-purple, and the color of the sauce is more uniform and natural, with little luster. | 5-9 |
| | The color of the sauce body is uneven and natural, dull | 1-4 |
| | Easy to apply, the coating is coherent and even, without layering | 8-10 |
| Spreadability (10) | Easy to apply, the coating is more consistent but uneven | 4-7 |
| | Easier to apply, but the coating is incoherent, uneven, and prone to fracturing | 1-3 |

Table 3

Formulation orthogonal test factor levels

| Level | A | B | C | D |
|-------|------------|------------------|--------------|---------|
| | Cherries/g | Purple cabbage/g | Chia seeds/g | Sugar/g |
| 1 | 150 | 100 | 6 | 50 |
| 2 | 160 | 110 | 8 | 55 |
| 3 | 170 | 120 | 10 | 60 |

and vegetable sauce is 160 grams of cherries, 110 grams of purple cabbage, 6 grams of chia seeds, and 60 grams of sugar.

The measurement results of physical and chemical indicators are shown in Table 5.

For the fruit and vegetable sauce in this study, the total number of bacterial colonies is the key deterioration factor, and the classic constant temperature accelerated test method is used to test at constant temperatures of 36 °C and 46 °C. According to the shelf life test (ALST), $\theta(ST1) = \theta(ST2) \times Q10^{(T2-T1)}$, calculate the shelf life of the fruit and vegetable sauce at room temperature (25 °C) (Dong Wen-shen, Qu Falin, Xu Bo., 2011, p. 87-88; Ge Wenhua, Wang Baowei, Hou Jie., 2013, p. 239-242). The final shelf life calculation result is 300d.

According to previous research, the product description can be summarized as the following Table 6.

Conclusion. At present, there are few functional fruit and vegetable jams on the market that are developed by adding vegetables to the jam, and its product development is still in its infancy. In this paper, the functional fruit and vegetable sauce produced with cherries, purple cabbage, chia seeds, etc. as the main raw materials meets people's new dietary needs. Due to its rich taste and flavor, it can be eaten with steaks, salads and breads. The research results are as follows:

The optimal formula of fruit and vegetable sauce was determined through single factor test and orthogonal test. The results showed that 160 grams of cherries, 110 grams of purple cabbage, 6 grams of chia seeds, 60 grams of white sugar, 1.5 grams of pectin, and 7 grams of lemon juice. The fruit and vegetable sauce produced by this formula has moderate sweetness and sourness, good color, unique flavor, good spreadability and good stability.

Table 4

Formulation Orthogonal Table L9 (34)

| Test number | Factor | | | | Test results |
|----------------|------------|--------------------|---------------|-----------|---------------|
| | A (cherry) | B (purple cabbage) | C (Chia seed) | D (sugar) | Sensory Score |
| 1 | 1(150g) | 1(100g) | 1(6g) | 1(50g) | 79.79 |
| 2 | 1 | 2(110g) | 2(8g) | 2(55g) | 77.44 |
| 3 | 1 | 3(120g) | 3(10g) | 3(60g) | 76.96 |
| 4 | 2(160g) | 1 | 2 | 3 | 80.46 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 82.71 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 77.13 |
| 7 | 3(170g) | 1 | 3 | 2 | 68.86 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 75.32 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 69.25 |
| K ₁ | 234.19 | 229.11 | 232.24 | 231.75 | |
| K ₂ | 240.30 | 235.47 | 227.15 | 223.43 | |
| K ₃ | 213.43 | 223.34 | 228.53 | 232.74 | |
| R | 8.96 | 4.04 | 1.70 | 3.10 | |

Table 5

The measurement results of physical and chemical indicators

| Physical and chemical indicators | Result |
|----------------------------------|------------|
| Moisture content | 63.75% |
| Reducing sugar content | 38.9g/100g |
| Soluble solid content | 73% |
| Acidity | 1.56% |
| Viscosity | 3.72Pa.s |

Table 6

Product Description

| PRODUCT DESCRIPTION | |
|---|---|
| Product name | Fruit and Vegetable Dressing with Chia Seeds |
| Main Raw Materials | Chia seeds, purple cabbage, cherries, pectin, lemon juice, sugar |
| Important product characteristics | Rich in dietary fiber |
| Intended use and suitability for consumers (main consumers, distribution methods, etc.) | People with cardiovascular and cerebrovascular diseases or constipation Wholesale and retail |
| Edible method | Ready to eat |
| Type of packaging | Glass jar |
| Shelf life | 300 days at room temperature |

Among the main functional ingredients of the product, dietary fiber is the most abundant. Adequate intake of dietary fiber can reduce the postprandial blood sugar level of diabetic patients, and at the same time reduce the risk of postprandial hyperlipidemia, hyperinsulinemia and other chronic diseases.

The shelf life is very important for food manufacturers and consumers. This study uses the classic constant temperature accelerated test method, and according to the ALST test (shelf life test), the shelf life of the fruit and vegetable sauce is 300d.

References:

1. Ayerza R, Coates W. An omega-3 fatty acid enriched chia diet: Influence on egg fatty acid composition, cholesterol and oil content[J]. Canadian Journal of Animal Science, 1999, 79 (1):53-58.
2. Chia Seed (Salvia hispanica): An Ancient Grain and a New Functional Food. Food reviews international, 2013,29:394-408.
3. Chu Weiyuan. Research on Soft Canned Mushroom Fruit and Vegetable Sauce [J]. Sichuan Food and Fermentation, 2002, (02): 41-44.
4. Dong Wenshen, Qu Falin, Xu Bo. Prediction of Shaogan Capsules by Classical Constant Temperature Accelerated Test Method Validity period [J]. Pharmacy and Clinical Research, 2011, 1(6): 87-88.
5. Ge Wenhua, Wang Baowei, Hou Jie. Research on the production process and shelf life prediction of goose oil bread research [J]. Food Industry Science and Technology, 2013, 34(10): 239-242.
6. Geng Nan. Development and quality analysis of low-sugar hawthorn-jujube compound jam [D]. Anhui Agricultural University, 2018.
7. Gong Xue, Zhou Changfeng, Xiao Peigen, et al. Research progress of Salvia Euryale [J] Food Research and Development, 2019, 40(4):165-172.
8. Hou Lanfang, Li Yujie. Development of Hawthorn Carrot Bitter Gourd Low-sugar Compound Fruit and Vegetable Sauce [J]. Agricultural Products Processing, 2019, (01): 10-12+16.
9. Kang Ye, Wang Jingfa, Peng Zhangzhi, et al. Research Progress on health care function of Chia seed [J]. Journal of Kunming University, 2016, 38(3):117-121.
10. Ren Yani, Che Zhenming, Jin Xuemin, et al. Application of ASLT method to predict the shelf life of soft bread [J]. Food Research and Development, 2011, 32 (2): 156-158.
11. Tian Yu. Development of low-sugar compound nutritional fruit and vegetable jam and research on its storage stability [D]. Inner Mongolia Agricultural University, 2013.
12. Wang Ziyi, Zhang Qiufang, Yang Cheng, etc Meteorological chromatographic determination ω -3 contents of ala, EPA and DHA in egg yolk of nutrient fortified eggs [J]. Chinese oil, 2021, 46 (7):148-152.
13. Wei Ping, You Xiangrong, Zhang Yayuan, et al. Development of low-sugar banana jam [J]. Food Research and Development, 2016, 37(01): 63-67.
14. Zhang Xiaohua, Zhang Xiaowen, Zheng Jingjing, Zhou Sanjiu. Development of oat Chia seed dietary fiber biscuit [J]. Cereals and Oil, 2021, 34(4):133-136,140.

У Чуйна, магістр, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Мельник О. Ю., кандидат технічних наук, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Удосконалення технології соусів з використання овочево-ягідної сировини

В даний час за рахунок зміни харчування людей, почастишали випадки хвороб населення різних вікових категорій. У розвинутих країнах, з прискореним темпом життя, навантаження на людину постійно зростає, що зумовлює інтенсифікацію процесів зниження здоров'я населення. Тому більшість людей починають звертати увагу на своє здоров'я та його підтримку. З підвищенням обізнаності людей про раціональне харчування та вплив його на здоров'я, насіння чіа поступово стає однією з інноваційних видів сировини в галузі харчових досліджень та розробки нових харчових продуктів функціонального призначення.

Насіння чіа давно вважаються їстівними, останніми роками воно набуло особливої популярності та знайшло широке використання у Китаї. Активні інгредієнти насіння чіа в основному включають жирні кислоти, фенольні флавоноїди, білок, харчові волокна, вітаміни та мінерали, які мають антиоксидантну дію, регулюють ліпіди в крові, артеріальний тиск, рівень цукру в крові, мають протизапальну дію та впливають на інші фізіологічні функції.

У даній роботі проводили удосконалення технології соусу з використанням вишні та червоноголової капусти. В якості основної сировини використовували вишню та червоноголовою капусту, в соус додавали насіння чіа та інші допоміжні речовини, визначали оптимальне співвідношення основних рецептурних компонентів соусу. В роботі проведено комплексну сенсорну оцінку різних сировинних і допоміжних матеріалів у фруктових-овочевих соусів за допомогою однофакторного експерименту та встановлено, що фруктовий-овочевий соус, отриманий за розробленою рецептурою, має помірну солодкість і кислинку, гарний колір, унікальний смак, в'язку структуру та добру стабільність.

У даному дослідженні було визначено термін зберігання соусу за допомогою класичного прискореного методу випробування при постійній температурі, і згідно з тестом ALST (тест терміну придатності). Встановлено, що термін придатності фруктовий-овочевий соус становить 300 днів.

Ключові слова: вишня, червоноголова капуста, насіння чіа, фруктовий-овочевий соус.

БІОГАЗОВА УСТАНОВКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ БУРЯКОВОГО ЖОМУ

Валієв Тімур Оділович

аспірант

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

ORCID: 0000-0003-3400-6147

email: timurvaliev@gmail.com

Поліщук Віктор Миколайович

доктор технічних наук, професор

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

ORCID: 0000-0002-9654-9051

polishchuk@nubip.edu.ua

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення продуктивності біогазових установок за рахунок розширення сировинної бази. В Україні в 2022 р. працювало 23 цукрових заводах, відходами від яких є буряковий жом. Біля кожного із цих заводів можна було побудувати біогазову установку, сировиною для яких слугували б відходи переробки цукрових буряків. Метою роботи є визначення оптимальних обсягів завантаження бурякового жому в метантенк для отримання максимального виходу біогазу. Дослідження проводились на лабораторній біогазовій установці у складі метантенка корисним об'ємом 30 л, і газгольдера «мокрого» типу. Метантенк працював при періодичній системі завантаження сировини. Температура субстрату становила 38°C. До 20 л дигестату додавалось 2,1 кг, 1,5 кг, 1 кг, 0,5 кг і 0,25 кг бурякового жому з рН=3,69. Вміст бурякового жому в субстраті становив 10,5; 7,5; 5,0 і 2,5%, 1,25%. При всіх варіантах вмісту жому в субстраті максимальний вихід біогазу був отриманий на наступну добу після завантаження субстрату в метантенк. В цей же час рН субстрату різко знижувався. В подальшому метанове зброджування жому відбувається відповідно того, як це здійснюється для інших типів субстратів: після досягнення стаціонарної фази в першу добу метанового бродиння спостерігається фаза відмирання, протягом якої популяція метаногенів скорочується внаслідок вичерпування поживних речовин субстрату. В цей час рН субстрату поступово збільшувався і в кінці метанового бродиння досягав свого початкового значення. В результаті дослідження встановлено, що буряковий жом успішно піддається метановому зброджуванню без додавання гною ВРХ при завантаженні до 10% від об'єму субстрату. Однак зростання обсягу завантаження бурякового жому веде до зниження виходу біогазу. Максимальний вихід біогазу при зброджуванні бурякового жому при періодичній системі завантаження метантенка спостерігається вже на наступну добу, а через дві доби вихід біогазу різко знижується. Оптимальний вміст бурякового жому при завантаженні його в метантенк, при якому вихід біогазу буде максимальним (1,762 л/(год.кг СОP)), становить 2,3%.

Ключові слова: біогаз, метан, установка, бродиння, жом, галузеве машинобудування.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.2>

Постановка проблеми. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення продуктивності біогазових установок за рахунок розширення сировинної бази. Традиційною сировиною для виробництва біогазу є гній ВРХ, який найкраще підходить до анаеробного зброджування. Однак гній ВРХ як сировина має один недолік – вихід біогазу при його метановому зброджуванні невеликий. Для збільшення виходу біогазу з гною ВРХ використовуються кусубстрати – відходи сільськогосподарського та переробного виробництва, при цьому виключається необхідність їх утилізації. До таких кусубстратів належать vinasse (Polishchuk et al., 2020), некондиційне борошно (Joseph et al., 2009), vegetable oil sediment (Polishchuk et al., 2021a), гранульована солома (Nazarenko et al., 2021), гранульована із пташиним послідом солома, відходи виробництва біодизеля: soap waste, який утворюється при нейтралізації біодизеля, та сирий гліцерин, який є побічним продуктом виробництва біодизеля (Polishchuk et al., 2021b). Разом із тим, ці кусубстрати не придатні до монозброджування, тому

сировинна база для виробництва біогазу часто буває обмеженою коров'ячим і свинячим гноем, пташиним послідом і кукурудзяним силосом.

Разом із тим, в Україні в 2022 році було вирощено 8,9 млн. тонн цукрових буряків, із яких на 23 цукрових заводах вироблено 1,45 млн. тонн цукру. Відходом виробництва цукру з цукрових буряків є буряковий жом – знецукрена бурякова стружка, що залишається після вилучення з неї цукру дифузійним способом (Romanіuk et al., 2022a). Обліково-нормативний вихід свіжого невіджатого жому при переробці зрілого буряка і дотримання оптимального технологічного режиму приймається рівним 83% до маси переробленого буряка при вмісті сухих речовин в ньому 6,5%. При пресуванні з жому виділяється жомпресова вода, підвищується вміст в ньому сухих речовин, а вихід пресованого жому в % до маси буряків відповідно зменшується. Жом із вмістом сухих речовин 10-12% називається віджати́м, а віджати́й до вмісту сухих речовин вище 12% – пресовани́м.

Буряковий жом використовується в кормових цілях. Для цього його висушують. Однак цей процес енергозатратний. Частіше жом складують в жомових ямах. Жом, який перебував у жомовій ямі більше трьох діб, називається кислим, оскільки за цей період він набуває кислої реакції ($\text{pH} \leq 5,0$). Згодовування такого жому коровам впливає на якість молока: молоко швидше скисає, масло з такого молока буде занадто твердим, а сири не визрівають в належний час.

Тому доцільно біля кожного цукрового заводу збудувати біогазовий комплекс, в якості сировини для цих комплексів використовувати кислий жом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Був проведений аналіз досліджень монозброджування жому, а також його сумісного зброджування з іншими субстратами. Аналізувався вихід біогазу, а також фактори, що на нього впливають.

Вихід метану, отриманий із двох різних зразків жому цукрових буряків, як описано в роботі (Rogovskii et al., 2020), значно варіювався між 236-326 мл/г VS, можливо, через різні концентрації азоту, фосфору і калію, знайдені в цих зразках (181 ± 216 г/кг ТС). В роботі (Mužik et al., 2012) описані результати дослідження метанового зброджування жому цукрових буряків. Встановлено, що стабільне виробництво біогазу може бути досягнуто в одностадійному режимі при максимальному об'ємному завантаженні 10 кг жому/м³ за добу. Ефективність деградації становила 75% для VS. Вихід біогазу сягав 610 л/кг VS при вмісті метану 50-53%. Як сказано в роботі (Romaniuk et al., 2018), біологічне розкладання жому цукрових буряків швидке, а вихід метану відносно високий. Найвищий вихід метану 330,9 л/кг VS був досягнутий за час утримання 35 діб. Ще вищий вихід метану до 388,9 л/кг VS був досягнутий при коферментації жому цукрових буряків із кукурудзяним силосом, але для біодеградації субстрату був потрібний довший час утримання – 55 діб. Середній вихід біометану при метановому зброджуванні жому становить 0,321 л/г VS, як зазначено в (Polishchuk et al., 2022). Біохімічний метановий потенціал бурякового жому при зберіганні у відкритих силосах становить 337-420 л CH₄/кг VS, а при зберіганні в закритих силосах – 411-451 л CH₄/кг VS (Rogovskii, 2019). За даними датських вчених, потенціал біометану в жомі цукрових буряків становить 324 м³ CH₄/т VS (Langebeck et al., 2020). Вихід біогазу з бурякового жому біогазу становив 168,7 мл/г твердих речовин (TS), тоді як після попередньої термічної обробки КОН вихід біогазу зріс майже втричі до 458,4 мл/г TS (Hutnan et al., 2000). В роботі (Janke et al., 2015) стверджується, що використання бурякового жому в якості сировини біогазових установок дозволяє отримувати 60-70 м³ біогазу з 1 тонни сировини.

Результати метанового зброджування сухого бурякового жому на дослідній біогазовій установці, яка складалась з кислотогенного реактора (об'ємом 5,3 м³) і метаногенного реактора (об'ємом 3,5 м³), описані в роботі (Hutnan et al., 2001). Рекомендована норма органічного навантаження для кислотогенного реактора становила 20 кг COD/ (м³·добу), гідравлічний час утримання –

4 доби, максимальний вміст підкисленої пульпи (сухої речовини) в цьому реакторі – 6-7%. Органічне навантаження метаногенного реактора становило 21 кг COD/ (м³·добу). Час гідравлічного утримання в цьому реакторі коливався від 27 діб (при завантаженні 3 кг/(м³·добу)) до 3,9 діб (при завантаженні 21 кг/(м³·добу)). Середнє значення питомого виробництва біогазу становило 0,391 м³ на кг доданого сухого бурякового жому Середня ефективність деградації сухого жому становила 91,5%.

Жом цукрових буряків має метановий потенціал 240 мл CH₄/г VS за умови його сумісного метанового зброджування з коров'ячим гноєм (Gomez-Quiroga et al., 2022). Термофільне (55°C) анаеробне спільне зброджування висушеного жому і коров'ячого гною проводили при напівбезперервному завантаженні реактора, як сказано в роботі (Fang et al., 2011). Результати показали, що найкраща продуктивність системи (щодо стабільності, виробництва біогазу, і видалення органічних речовин) було досягнуто при часі гідравлічного утримання 5 діб при швидкості завантаження органічних речовин (OLR) 12,47 гVS/л за добу). Вихід біогазу при цьому становив 315 мл/г VS.

Вихід біогазу з жому цукрової тростини становить 293 мл/г VS (метану – 122 мл/г VS) (Brooks et al., 2008).

При сумісному метановому зброджуванні стічних вод цукрового заводу та бурякового жому вихід метану з 255±11 mL/g COD-added для реактора з безперервним завантаженням субстрату було збільшено до 337±15 mL/g COD-added для реактора з періодичним завантаженням субстрату (збільшення виходу метану на 32,2 %). Тому в роботі (Rogovskii, 2019) робляться висновки, що для метанового зброджування стічних вод цукрового заводу та бурякового жому більш ефективним є періодичне завантаження субстрату. В роботі (Nazarenko et al., 2020) описані результати сумісного метанового зброджування кінського гною, яблучних вичавок і жому цукрових буряків у співвідношенні 2:1:3. Вихід біогазу без попередньої обробки субстрату становив 189,7 мл/г VS, після лужної попередньої обробки NaOH вихід біогазу зріс до 300,9 мл/г VS, після кислотної попередньої обробки HNO₃ – до 310,4 мл/г VS, а після попередньої термічної обробки при 150°C протягом 60 хвилин – до 329,4 мл/г VS. В роботі (Rogovskii, 2019) стверджується, що кумулятивний вихід біогазу з жому цукрових буряків, подрібненого до частинок розміром 2,5 мм, становить 617,2 мл/г легких твердих речовин (VS), що було на 20,2 % вище порівняно з виходом біогазу з необробленого жому. А найвища кумулятивна продуктивність біогазу, 898,7 мл/г VS, була отримана з меленого, попередньо обробленого термічним тиском і ферментативно гідролізованого жому.

Максимальний вихід біогазу при сумісному зброджуванні жому цукрової тростини і осаду стічних вод становить 4,98 м³/кг VS. Анаеробне мезофільне спільне зброджування жому цукрових буряків з пташиним послідом і осадом міських стічних вод досліджувалось в роботі (Brooks et al., 2008). Максимальний вихід метану в 418 дм³/кг VS було досягнуто, коли реактор працював із часом утримання 20 діб і швидкістю органічного заван-

таження 4,25 kgVS/m³ за добу. В роботі (Hutnan et al., 2000) автори рекомендують для метанового зброджування пшеничної соломи додавати до неї можна сухий жом в кількості 5% від маси соломи. Але для збільшення виходу біогазу необхідно шукати добавки, що містять азот.

Отже, в літературних джерелах наведені значення максимального виходу біогазу при монозброджуванні бурякового жому і при сумісному зброджуванні бурякового жому з іншими субстратами. Однак у літературних джерелах не вказано, яку кількість бурякового жому необхідно додати до субстрату, щоб отримати максимальний вихід біогазу.

Метою досліджень є визначення оптимальних обсягів завантаження бурякового жому в метантенк для отримання максимального виходу біогазу.

Результати досліджень. Для визначення відношення вологи до сухої речовини підготовленого зразка жому застосовувались електронні ваги-вологоміри серії ADGS (рис. 1), які складаються з лабораторних вагів 3 класу точності та вбудованим над ними пристроєм для сушіння, що дозволяє використовувати їх як традиційні лабораторні ваги, так і як автоматизований прилад для визначення вмісту вологи в зразках.



Рис. 1. Ваги-вологомір ADGS-50

Визначення вмісту вологи в зразках матеріалів та речовин здійснюють термографічним методом.

Визначення термографічним методом вмісту вологи в речовинах та матеріалах полягає у визначенні маси підготовленого зразку до і після його висушування шляхом нагрівання. Випаровування вологи зі зразка під час нагрівання призводить до зменшення його маси, що дозволяє виключно за даними вимірювань маси розраховувати вміст у досліджуваному зразку вологи, яка була до початку процесу сушіння зразку.

Визначення вмісту вологи в одному і тому ж зразку може бути реалізовано з однаковою точністю при суттєво різних по значенню температурах сушіння зразка (різниця буде полягати виключно в часі проведення процедури).

За кінцевий результат аналізу приймають середньоарифметичні результати двох паралельних вимірювань. Результат округлюють до другого десяткового знаку.

Встановлено, що середня вологість жому становить 93,11%, тоді як середній сухий залишок – 6,89%. Неорга-

нічна частка жому становить 4,07%, органічна – 95,93%. Елементний склад органічної частини жому становить: вуглець – 44,44%, азот – 3,61%, водень – 6,97%, сірка – 0,36%, фосфор – 0,12%, кисень – 44,5%. Показник рН жому становить 3,69. Дослідження проводились в компанії «Ecodevelop».

Дослідження проводяться при періодичному завантаженні метантенка. При цьому до 20 л дигестату додається 2,1 кг, 1,5 кг, 1 кг, 0,5 кг і 0,25 кг жому. Вміст жому в субстраті становить 10,5; 7,5; 5,0 і 2,5%, 1,25%.

Дослідження впливу вмісту жому в субстраті на динаміку і накопичений вихід біогазу при періодичному завантаженні метантенка проводились на лабораторній біогазовій установці у складі метантенка корисним об'ємом 30 л, і газгольдера «мокрого» типу. Контроль і регулювання температури бродиння здійснювались терморегулятором ТРЦ-02 через термометр опору ТСМ-50. Об'єм отриманого біогазу один чи декілька разів на добу визначався по шкалі, закріпленій на направляючій 15 по висоті підняття циліндра-рівнеміра 14 газгольдера, з наступним перерахунком при відомому діаметрі циліндра-рівнеміра, який становить 20 см.

Дослідження проводились при періодичному завантаженні метантенка. При цьому в метантенк завантажуються відміряний об'єм субстрату, кран 16 закривається для створення анаеробного режиму. Температура субстрату становить 38°C.

Критерієм ефективності біогазових технологій є величина виходу біогазу і вміст в ньому метану (теплова цінність біогазу).

Аналіз компонентного складу біогазу проводили на газовому хроматографі 6890 N фірми Agilent Technologies. Умови аналізу: детектор-катарометр, температура детектора – 200°C. Аналіз легких газів проводився на колонці MOLSIV, довжиною 15 м. Зразки газу вводили безпосередньо в дозатор хроматографа 6890 N фірми Agilent Technologies.

Дослідження апроксимованої функції на екстремум здійснювалось за допомогою методу дихотомії.

Динаміка виходу біогазу в часі визначалась в трьох повторностях, після чого встановлювалось середнє значення (рис. 2).

Порівнювалась динаміка виходу біогазу при вмісті жому в субстраті 1,25%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% (рис. 3. рис. 4).

Показник рН субстрату при цьому змінювався наступним чином (рис. 5).

Як видно із рис. 3 при всіх варіантах вмісту жому в субстраті максимальний вихід біогазу був отриманий на наступну добу після завантаження субстрату в метантенк. В цей же час рН субстрату різко знижувався. В подальшому метанове зброджування жому відбувається відповідно того, як це здійснюється для інших типів субстратів: після досягнення стаціонарної фази в першу добу метанового бродиння спостерігається фаза відмирання, протягом якої популяція метаногенів скорочується внаслідок вичерпування поживних речовин субстрату. В цей час рН субстрату поступово збільшувався і в кінці метанового бродиння досягав свого початкового значення.

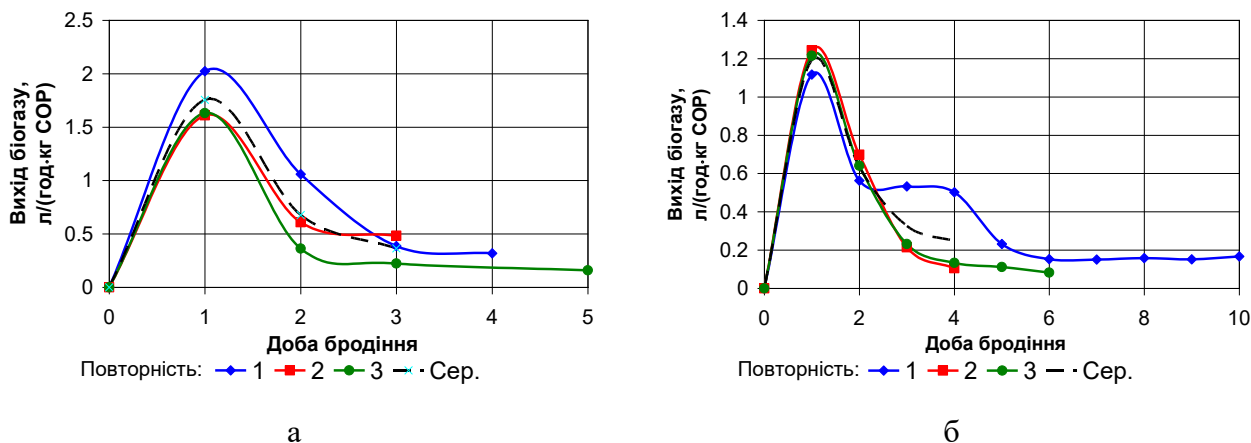


Рис. 2. Динаміка виходу біогазу при вмісті жому в субстраті: а – 2,5%, б – 5%

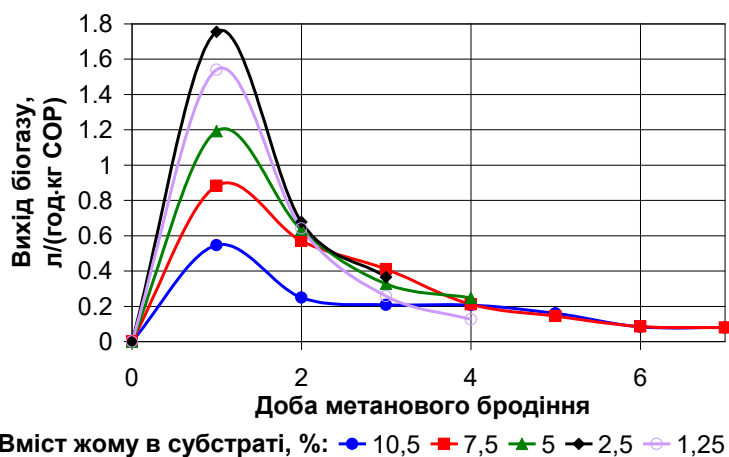


Рис. 3. Динаміка виходу біогазу при вмісті жому в субстраті 1,25-10,5%

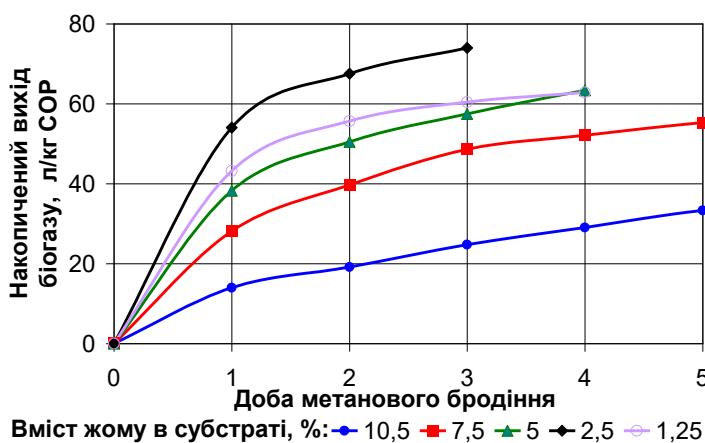


Рис. 4. Накопичений вихід біогазу при вмісті жому в субстраті 1,25-10,5%

Якщо порівнювати метанове зброджування жому із метановим зброджуванням гною ВРХ [4], то варто відмітити, що цикл метанового зброджування жому коротший майже в 10 раз за цикл метанового бродіння гною ВРХ.

При цьому максимум виходу біогазу при метановому зброджуванні жому настає вже в першу добу, тоді як при метановому зброджуванні гною ВРХ – на 6-8 добу. Максимальний вихід біогазу при метановому зброджуванні

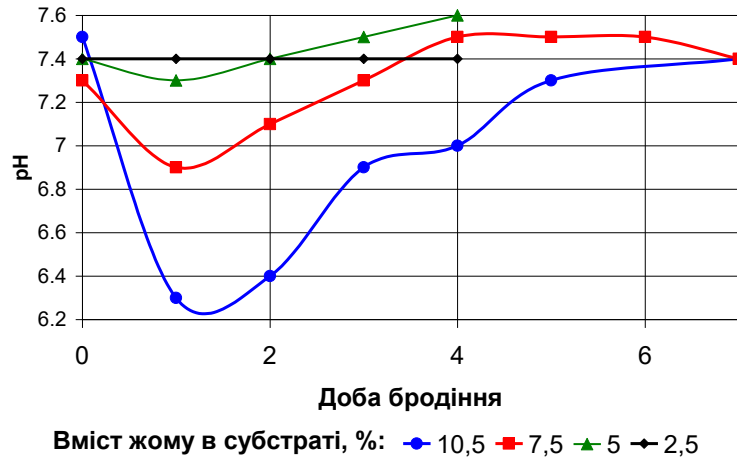


Рис. 5. pH субстрату при вмісті жому в субстраті 2,5-10,5%

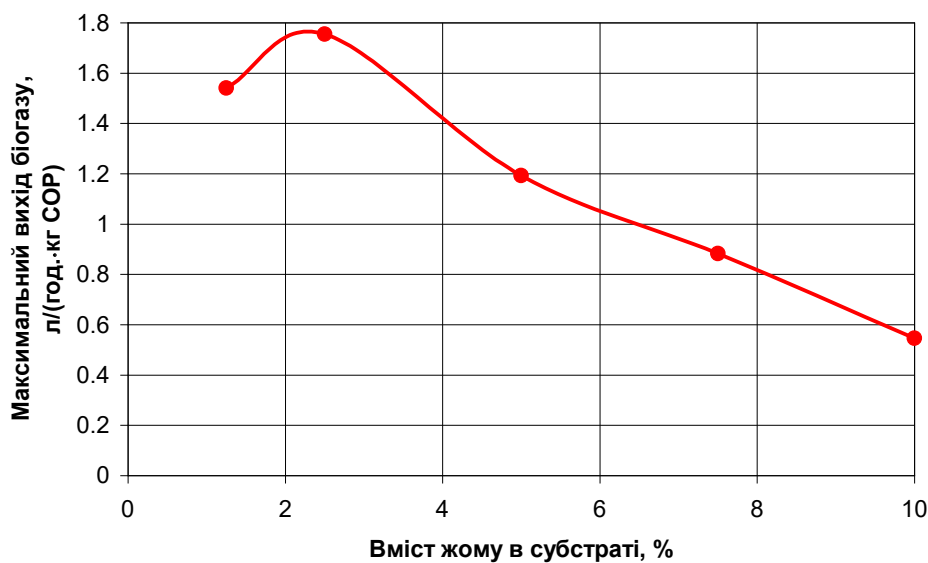


Рис. 6. Залежність максимальної швидкості виходу біогазу від вмісту жому в субстраті

жому також у більшості варіантів перевищує (інколи значно перевищує) максимальний вихід біогазу при метановому зброджуванні гною ВРХ.

Промислове виробництво біогазу здійснюється при квазібезперервному завантаженні субстрату у метантенк, тоді як експериментальні дослідження динаміки виходу біогазу проводились за періодичному завантаженні субстрату у метантенк. Щоб здійснювати завантаження субстрату в квазібезперервному режимі (приблизно кожну годину) потрібно, щоб дослідник постійно перебував біля метантенка, адже він не укомплектований системою автоматичного завантаження субстрату. Якщо в денний час це допустимо, то в нічний час досить складно. Тому експериментальні біогазові установки, які функціонують в квазібезперервному режимі завантаження субстрату, для виключення участі дослідника з потребують автоматизації, щоб максимально виключити участь дослідника з процесу завантаження. Це значно ускладнює облад-

нання біогазової установки і викликає суттєве подорожчання досліджень.

Тому більшість досліджень динаміки виходу біогазу здійснюється саме при періодичному режимі завантаження метантенка. Але при цьому постає питання адаптації результатів таких досліджень для використання в промислових біогазових установках, які працюють в режимі напівбезперервного завантаження субстратом. Згідно із [4], вихід біогазу при поступовій системі завантаження буде близький до максимального виходу біогазу при періодичній системі завантаження метантенка. Максимальна швидкість виходу біогазу при вмісті жому в субстраті 1,25-10,5% наведена на рис. 6.

Обговорення. Функція $w_{bmax}=f(b)$ була досліджена на екстремум $w_{bmax} \rightarrow \max$ методом дихотомії на комп'ютері в програмі MathCad за допомогою функції *maximize* (Hrynkiv et al., 2020). Встановлено (Kulichkova et al., 2020), що оптимальний вміст бурякового жому при заван-

таженні його в метантенк (Romaniuk et al., 2022b), при якому вихід біогазу буде максимальним (1,762 л/(год.·кг СОР)), становить 2,3%.

Висновки. Буряковий жом успішно піддається метановому зброджуванню без додавання гною ВРХ при при завантаженні до 10% від об'єму субстрату. Однак зростання обсягу завантаження бурякового жому веде до зниження виходу біогазу.

Максимальний вихід біогазу при зброджуванні бурякового жому при періодичній ситемі завантаження метантенка спостерігається вже на наступну добу, а через дві доби вихід біогазу різко знижується.

Оптимальний вміст бурякового жому при завантаженні його в метантенк, при якому вихід біогазу буде максимальним (1,762 л/(год.·кг СОР)), становить 2,3%.

Бібліографічні посилання:

1. Brooks, L., Parravicini, V., Svardal, K., Kroiss, H. & Prendl L. (2008). Biogas from sugar beet press pulp as substitute of fossil fuel in sugar beet factories. *Water Science and Technology*, 58 (7): 1497–1504. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.516>.
2. Fang, Ch., Bae, K. & Angelidaki, I. (2011). Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure. *Water Research*, 45(11): 3473–3480. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.04.008>.
3. Gomez-Quiroga, X., Aboudi, K., Alvarez-Gallego K. J. & Romero-García L. I. (2022). Successful and stable operation of anaerobic thermophilic co-digestion of sun-dried sugar beet pulp and cow manure under short hydraulic retention time. *Chemosphere*, 293: 133484. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133484>.
4. Hryniv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
5. Hutnan, M., Dřtil, M., Derco, J. & Mrafcová, L. (2000). Anaerobic biodegradation of sugar beet pulp. *Biodegradations*, 11(4): 203–211. <https://doi.org/10.1023/a:1011139621329>.
6. Hutnan, M., Dřtil, M., Derco, J., Mrafcová, L., Horňák, M. & Mičo S. (2001). Two-step pilot-scale anaerobic treatment of sugar beet pulp. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10(4): 237–243.
7. Janke, L., Leite, A., Nikolausz, M., Schmidt, Th., Liebetrau, J., Nelles, M. & Stinner W. (2015). Biogas production from sugarcane waste: assessment on kinetic challenges for process designing. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(9): 20685–20703. <https://doi.org/10.3390/ijms160920685>.
8. Joseph, O., Rouez, M., Métivier-Pignon, H., Bayard, R., Emmanuel, E. & Gourdon, R. (2009). Adsorption of heavy metals on to sugar cane bagasse: Improvement of adsorption capacities due to anaerobic degradation of the biosorbent. *Environmental Technology*, 30(13): 1371–1379. <https://doi.org/10.1080/09593330903139520>.
9. Kulichkova, G. I., Ivanova, T. S., Köttner, M., Volodko, O. I., Spivak, S. I., Tsygankov, S. P. & Blume, Ya. B. (2020). Plant feedstocks and their biogas production potentials. *The Open Agriculture Journal*, 14: 219–234. <https://doi.org/10.2174/1874331502014010219>.
10. Langebeck, B., Pipper, Ch. & Jeppesen, J. (2020). Biogas production from hydrolyzed sugar beet pulp and from top and tails. *Sugar industry*, 145(7): 427–430. <https://doi.org/10.36961/si24554>.
11. Mužík, O., Kara, J. & Hanzlikova, I. (2012). Potential of sugar beet pulp for biogas production. *Listy Cukrovarnicke a Reparske*, 128(7): 246–249.
12. Nazarenko, I., Dedov, O., Beryk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
13. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
14. Polishchuk, V. M., Shvorov, S. A., Flonts, I. V., Davidenko, T. S. & Dvornyk, Ye. O. (2021a). Increasing the yield of biogas and electricity during manure fermentation cattle by optimally adding lime to extruded straw. *Problemele Energeticii Regionale*, 1(49): 73–85. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2021.1-49.02>.
15. Polishchuk, V. M., Shvorov, S. A., Krusir, G. V., Didur, V. V., Witaszek, K., Pasichnyk, N. A., Dvornyk, Ye. O. & Davidenko, T. S. (2022). Using soap waste from biodiesel production to intensify biogas generation during anaerobic digestion of cow dung. *Problemele Energeticii Regionale*, 1(53): 97–107. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.1-53.08>.
16. Polishchuk, V. M., Shvorov, S. A., Zablodskiy, M. M., Kucheruk, P. P., Davidenko, T. S. & Dvornyk, Ye. O. (2021b). Effectiveness of adding extruded wheat straw to poultry manure to increase the rate of biogas yield. *Problemele Energeticii Regionale*, 3(51): 111–124. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2021.3-51.10>.
17. Polishchuk, V. M., Shvorov, S. A., Tarasenko, S. Ye. & Antypov, I. O. (2020). Increasing the biogas release during the cattle manure fermentation by means of rational addition of substandard flour as a cosubstrate. *Science and Innovation*, 16(4): 25–35. <https://doi.org/10.15407/scin16.04.025>.
18. Rogovskii, I. L., Polishchuk, V. M., Titova, L. L., Sivak, I. M., Vyhovskyi, A. Yu., Drahnev, S. V. & Voinash, S. A. (2020). Study of biogas during fermentation of cattle manure using a stimulating additive in form of vegetable oil sediment. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15(22): 2652–2663.
19. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.

20. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.

21. Romaniuk, W., Rogovskii, I., Polishchuk, V., Titova, L., Borek, K., Shvorov, S., Roman, K., Solomka, O., Tarasenko, S., Didur, V. & Biletskii, V. (2022a). Study of technological process of fermentation of molasses vinasse in biogas plants. *Processes*, 10: 2011. <https://doi.org/10.3390/pr10102011>.

22. Romaniuk, W., Rogovskii, I., Polishchuk, V., Titova, L., Borek, K., Wardal, W. J., Shvorov, S., Dvornyk, Y., Sivak, I., Drahnev, S. & Derevjanko, D. (2022b). Study of methane fermentation of cattle manure in the mesophilic regime with the addition of crude glycerine. *Energies*, 15(9): 3439. <https://doi.org/10.3390/en15093439>.

Valiev T. O., *Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

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

Biogas installation of agricultural machinery for methane fermentation of beet pulp

The relevance of the study is due to the need to increase the productivity of biogas plants due to the expansion of the raw material base. In Ukraine in 2022, 23 sugar factories were operating, the waste from which is beet pulp. It would be possible to build a biogas plant near each of these factories, the raw material for which would be sugar beet processing waste. The purpose of the work is to determine the optimal volume of loading beet pulp into the methane tank to obtain the maximum yield of biogas. The research was carried out at a laboratory biogas installation consisting of a methane tank with a useful volume of 30 liters and a “wet” type gas holder. The methane tank operated with a periodic system of raw material loading. The temperature of the substrate was 38 °C. 2.1 kg, 1.5 kg, 1 kg, 0.5 kg and 0.25 kg of beet pulp with pH=3.69 was added to 20 liters of digestate. The content of beet pulp in the substrate was 10.5; 7.5; 5.0 and 2.5%, 1.25%. With all variants of pulp content in the substrate, the maximum biogas output was obtained the next day after loading the substrate into the methane tank. At the same time, the pH of the substrate decreased sharply. Subsequently, methane fermentation of the pulp occurs in accordance with the way it is carried out for other types of substrates: after reaching the stationary phase on the first day of methane fermentation, a die-off phase is observed, during which the population of methanogens decreases due to depletion of substrate nutrients. At this time, the pH of the substrate gradually increased and reached its initial value at the end of methane fermentation. As a result of the study, it was established that beet pulp is successfully subjected to methane fermentation without the addition of cattle manure when loading up to 10% of the volume of the substrate. However, the increase in the loading volume of beet pulp leads to a decrease in the yield of biogas. The maximum yield of biogas during the fermentation of beet pulp with a periodic system of loading the methane tank is observed already on the next day, and after two days the yield of biogas decreases sharply. The optimal content of beet pulp when loading it into a methane tank, at which the biogas output will be maximum (1.762 l/(h. kg of CO)) is 2.3%.

Key words: *biogas, methane, installation, fermentation, pulp, industry engineering.*

ЕКСПЛУАТАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ КОРМОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Гненюк Максим Володимирович

аспірант

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

ORCID: 0000-0002-9654-9051

gnenyuk@gmail.com

Автором в статті представлено результати одного із завдань досліджень, а саме, створення керованих зтяжок, що використовують для свого функціонування енергію пружного деформування системи, що розвантажуються, що дозволить обійтися без зовнішнього енергетичного джерела. Для досягнення результативності і розв'язання цього завдання змодельовано тривимірну модель основної рамної конструкції, що деформується, розроблено алгоритм розрахунку цієї моделі методом кінцевих елементів, а також проведено експеримент на основі тензометрування і порівняно отримані експериментальні результати з теоретичними.

В статті представлено аналіз колових та меридіональних напружень, при цьому у зоні керованої зтяжки меридіональних напружень $\sigma_{\text{тmax}}$ у 2,2 рази перевищують колові $\sigma_{\text{тmax}}$ напруження, тобто відбувається перерозподіл напруги та ефект від введення поперечної керованої зтяжки значно зменшується. Система елементів самохідного кормозбирального комбайна при вивантаженні кормових рослинних решток, відчуває, крім того, і силу, що розтягує. Обґрунтовано, що особливістю таких систем є те, що сили, що прикладаються ззовні до керованих зтяжок і одержувані при цьому керуючі навантаження, можуть перебувати в одній площині, у взаємно перпендикулярних напрямках. Система зовнішніх сил, прикладених до конструкції, змінюється у часі і водночас є системою статично прикладених сил. Зняття зовнішніх сил конструкції за рахунок акумульованої енергії повертає у вихідний (недеформований) стан. Підключення до деформованої основної конструкції керованої зтяжки, яка використовує внутрішню енергію може призвести до залишкових деформацій матеріалу основної конструкції і, в результаті, порушення технологічних режимів роботи машини або споруди в цілому. Тому, в результаті, відбір частини пружної енергії необхідно проводити за час деформування між початковим і кінцевим положеннями основної конструкції, що деформується, тобто між нульовим і кінцевим значеннями статично прикладається зовнішньої сили.

Другим завданням дослідження автор вирішив створення та розробка поздовжніх керованих зтяжок для системи елементів самохідного кормозбирального комбайна, які необхідні для зменшення меридіонального напруження σ_m , що виникають в обичайці периметру при її розвантаженні, і мають максимальну величину в зонах впливу поперечних зтяжок. Для вирішення цього завдання побудовано математичну модель, та досліджено залежність отриманих виразів σ_t і σ_m , ґрунтуючись на яких, вибрано раціональну конструкцію таких зтяжок системи елементів самохідного кормозбирального комбайна. Метою подібних досліджень було отримання конструкцій системи елементів самохідного кормозбирального комбайна, що мають підвищену здатність, що експлуатується, при меншій матеріаломісткості.

Ключові слова: система, норма, ремонт, виробництво, комбайн.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.3>

Постановка проблеми. У складних технічних системах сільськогосподарського призначення (Feng et al., 2018), якими є самохідні кормозбиральні комбайни Rogovskii et al., 2019), практично скрізь використовуються тонкостінні (Nazarenko et al., 2020), оболонкові (Turebayeva et al., 2022), рамні або фермові конструкції Rogovskii et al., 2019), маса яких значно вища порівняно із іншими складовими (Tarasenko et al., 2021), внаслідок чого собівартість цих виробів та їх експлуатаційні витрати істотні (Moraru et al., 2012).

Однім з шляхів зниження матеріаломісткості сільськогосподарських конструкцій, є застосування додаткових елементів – керованих і некерованих зтяжок, з яких, напруги в поперечних перерізах конструкції рахунок роботи системи «конструкція – зтяжка», значно знижуються (Rogovskii et al., 2020). Застосування некерованих (статичних) зтяжок для цієї мети широко відоме та розглянуте нижче (David et al., 2015). Але у сільськогосподарських кормозбиральних машинах

зовнішні навантаження часто змінюються у часі циклічному режимі, що створює певні труднощі застосування статичних зтяжок. В результаті спільної роботи системи «конструкція – керована зтяжка», основна конструкція зазнає напруження набагато меншої інтенсивності, ніж конструкція без зтягування (Piao et al., 2019). Отже, основну конструкцію самохідного кормозбирального комбайна можна завантажити силою більшої величини, або знизити її матеріаломісткість (Liu et al., 2021).

Для роботи керованої зтяжки передбачається використання енергетичного джерела. Для пружних механічних систем може бути двох типів: зовнішній, що представляє енергетичну машину (машину – двигун) і внутрішній, використовує внутрішню енергію пружного деформування (пружну енергію) основної конструкції (Rogovskii et al., 2021). Таким чином, керованої зтяжкою можна назвати напружуючий елемент або систему елементів самохідного кормозбирального комбайна, що створює в напруженій (основній) конструкції в заданий

момент часу внутрішні сили, що зменшують або повністю компенсують внутрішні сили від зовнішнього навантаження (Rogovskii, 2019).

Реалізація подібного підходу здійснена на прикладі удосконалення, за допомогою керованої зтяжки із зовнішнім енергетичним джерелом, рамної конструкції кормозбирального комбайна та розробки нового виду керованих зтяжок, що використовують для свого функціонування енергію пружного деформування розвантаженої системи, що виникає в ній від дії зовнішніх сил (Dahiya & Singh, 2016).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Некеровані зтяжки застосовувалися практично все минуле століття у сільськогосподарських машинах для зниження матеріаломісткості та збільшення надійності, де як зтяжка застосовувалися стрижні, канати та струни (Cherniavskih et al., 2021). Але в машинах, зокрема сільськогосподарських, що працюють у циклічному режимі, некеровані зтяжки показали свою слабку ефективність (Romaniuk et al., 2018). У праці (Forgó et al., 2021) запропоновані деякі конструкції керованих зтяжок, що стежать за рівнем внутрішніх зусиль і компенсують їх з метою зниження матеріаломісткості. У праці (Murillo et al., 2016) запропоновано застосувати такі зтяжки для відновлення ресурсу сільськогосподарських машин, що ремонтуються. Надійність функціонування керованої зтяжки сільськогосподарської машини, отже й самої конструкції технічної системи, багато в чому залежить від надійності зовнішнього енергетичного джерела, і навіть механізму зворотний зв'язок (Nazarenko et al., 2021).

Однією із завдань дослідження є створення керованих зтяжок, що використовують для свого функціонування енергію пружного деформування системи, що розвантажуються, що дозволить обійтися без зовнішнього енергетичного джерела (Carter et al., 2015). Для досягнення поставленої мети і розв'язання цього завдання необхідно змоделювати тривимірну модель основної конструкції, що деформується, розробити алгоритм розрахунку цієї моделі методом кінцевих елементів, а також провести експеримент на основі тензометрування і порівняти отримані результати з теоретичними (Xia et al., 2017).

Другим завданням дослідження є створення та розробка поздовжніх керованих зтяжок для системи елементів самохідного кормозбирального комбайна, які необхідні для зменшення меридіонального напруження σ_m , що виникають в обичайці периметру при її розвантаженні, і мають максимальну величину в зонах впливу поперечних зтяжок (Bayan et al., 2021).

Для вирішення цього завдання, необхідно побудувати математичну модель, та дослідити залежність отриманих виразів σ_t і σ_m , ґрунтуючись на яких, вибрати раціональну конструкцію таких зтяжок системи елементів самохідного кормозбирального комбайна (Bazaluk et al., 2021). Метою подібних досліджень є отримання конструкцій системи елементів самохідного кормозбирального комбайна, що мають підвищену здатність, що експлуатується, при меншій матеріаломісткості.

Метою досліджень є дослідження методів експлуатаційного забезпечення безвідмовності рамних конструкцій кормозбиральних комбайнів.

Результати досліджень. Використання керованих зтяжок для зниження рівня внутрішніх сил системи елементів самохідного кормозбирального комбайна передбачає запровадження методики інженерного розрахунку, зміни конструкції та технологія застосування поздовжньої керованої зтяжки. У зоні циліндричної оболонки рамних конструкцій кормозбиральних комбайнів прилеглої до поперечної керованої зтяжки, що знаходиться під впливом внутрішнього тиску $p = f(t)$, виникають колові σ'_{max} та меридіональні σ'_{mmax} напруження:

$$\sigma'_{max} = \frac{6\mu}{h^2k} e^{-\xi} \left[-\frac{q}{2} \sin \xi + \frac{q}{4} (\cos \xi + \sin \xi) \right] + \frac{E}{R} \left\{ \frac{pR^2}{Eh} + \frac{1}{2k^3D} e^{-\xi} \left[-\frac{q}{2} \cos \xi + \frac{q}{4} (\cos \xi - \sin \xi) \right] \right\} \quad (1)$$

$$\sigma'_{mmax} = \frac{6}{h^2k} e^{-\xi} \left[-\frac{q}{2} \sin \xi + \frac{q}{4} (\cos \xi + \sin \xi) \right] + \frac{pR}{2h}, \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; q – навантаження, що прикладається від зтягування; E – модуль Юнга; $\xi = kx$; $k = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)/R^2h^2}$; x – поздовжня координата, що відраховується від площини кріплення зтяжки; p – внутрішній робочий тиск в оболонці; $D = Eh^3/12(1-\mu^2)$ – циліндрична жорсткість, R – радіус серединної поверхні оболонки; h – товщина оболонки.

Аналізуючи залежності (1), (2) для циліндричної оболонки рамних конструкцій кормозбиральних комбайнів, виконаної з листової сталі 09Г2С з наступними параметрами: $R = 1,25\text{ м}$; $h = 0,003\text{ м}$; $P_{max} = 0,14\text{ МПа}$ (управління внутрішніми силами здійснювалося за допомогою зміни зовнішнього навантаження q в межах від 0 до $5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}$), будуються графіки σ'_{max} і $\sigma'_{mmax} [\text{Н/м}^2]$ залежно від координати $x [\text{м}]$, спрямованої від площини кріплення зтяжки вздовж утворює циліндричної оболонки.

Як видно з графіка (рис. 1) у зоні керованої зтяжки меридіональних напружень σ'_{mmax} у 2,2 рази перевищують колові σ'_{max} напруження, тобто відбувається перерозподіл напруги та ефект від введення поперечної керованої зтяжки значно зменшується.

Система елементів самохідного кормозбирального комбайна при вивантаженні кормових рослинних решток, відчуває, крім того, і силу, що розтягує, величина якої дорівнює:

$$F = S \cdot P(t), \quad (3)$$

де S – площа торцевої стінки; P – внутрішній тиск; t – час.

Щоб компенсувати частину цієї сили, пропонується застосувати поздовжню керовану зтяжку, робота якої здійснюється на основі системи, що майже миттєво змінюється (рис. 2).

Застосування майже миттєво змінюваних систем обумовлено можливістю створення на малих переміщеннях

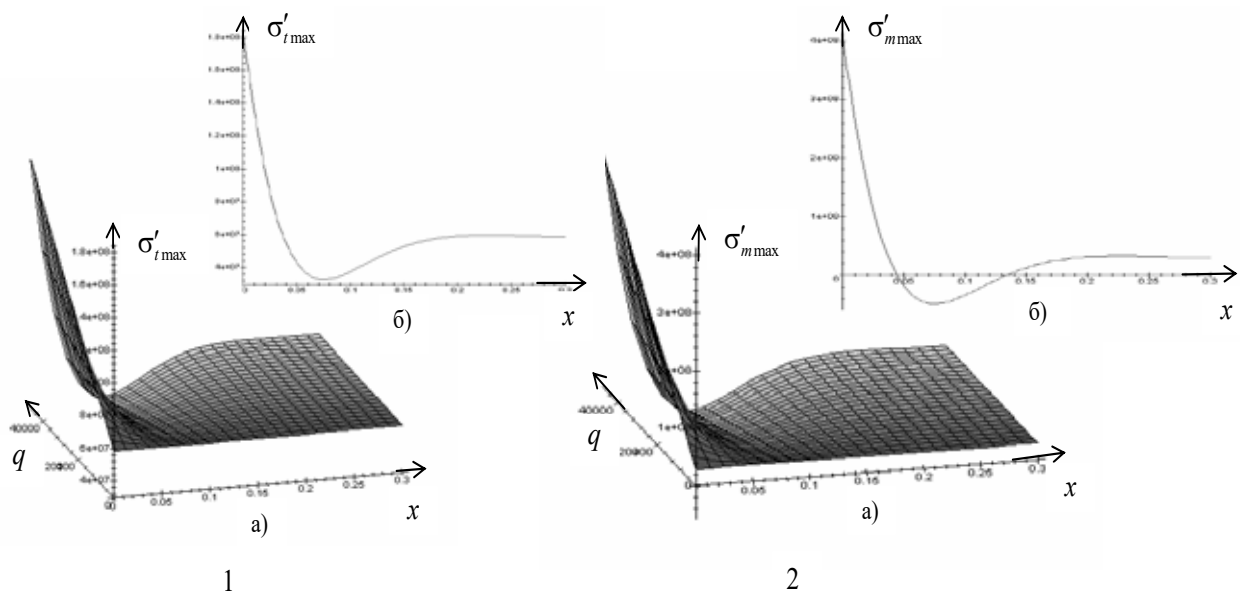


Рис. 1. Графік для аналізу колових (1) та меридіональних (2) напружень: а) графік залежності σ'_{\max} ; $\sigma'_{\max} = f(q, x)$; б) розшифрування графіка а) при $q = 47 \text{ кН/м}$

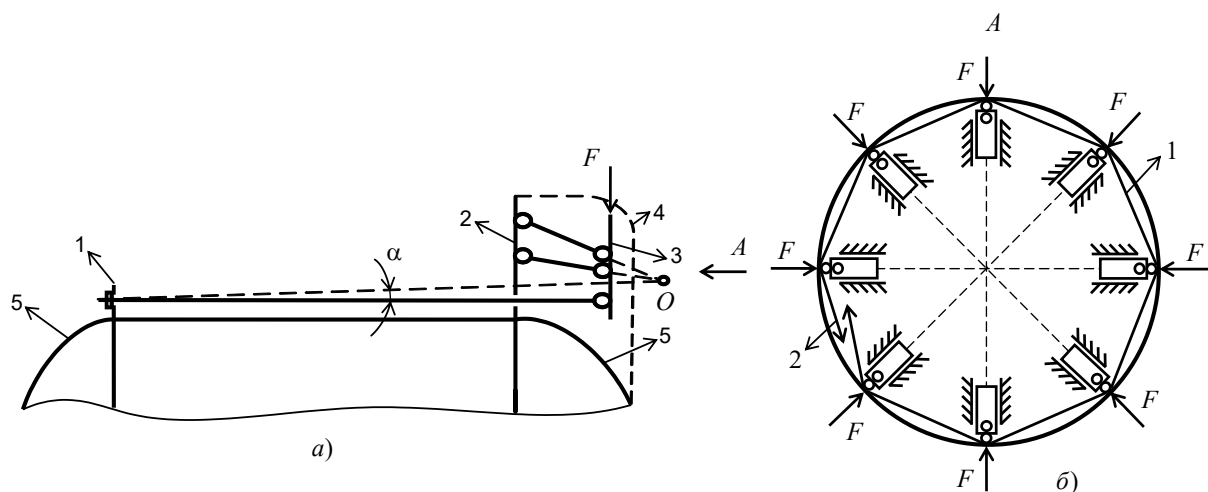


Рис. 2. Схема системи елементів самохідного кормозбирального комбайна з майже миттєво змінюваною системою

і при невеликих значеннях керуючих сил дуже великі реактивні зусилля і, як наслідок, високе напруження в контрольних перерізах основної конструкції. Більше того, особливістю таких систем є те, що сили, що прикладаються ззовні до керованих зтяжок і одержувані при цьому керуючі навантаження, можуть перебувати в одній площині, у взаємно перпендикулярних напрямках.

Малі переміщення в майже миттєво змінюваних системах дозволяють досить швидко реагувати на зміну амплітуди зовнішніх сил, що дає можливість відмовитися від застосування електроніки при організації зворотного зв'язку і використовувати механічні системи з елементами пневматики і гідравліки.

Схема поздовжньої керованої зтяжки, побудованої на основі системи, що миттєво змінюється, представлена на рис. 2. На схемі рис. 2,а: 1 – диск кріплення зтяжок, 2 – диск кріплення елементів майже миттєво змінюваної системи, 3 – плашка, 4 – кожух, 5 – рамна конструкція, умовно показана верхня частина.

При досягненні розрахункового значення меридіонального напруження, на плашку 3 (кількість яких на ємності досягає (рис. 2, б) восьми) передається зусилля F за допомогою троса, що натягується керуючим механізмом, пов'язаним з гальмівною пневмосистемою, аналогічним механізму поперечної зтяжки. Під дією цієї сили плашка 3 буде переміщатися в центр торця ємності.

сті, створюючи тим самим великі зусилля в елементах системи, що майже миттєво змінюється. Величина цих зусиль обернено пропорційна тангенсу кута α . Чим менший кут α , тим більше зусилля у затягуванні. Уся система закривається кожухом 4.

Керуюче зусилля тут створюється в меридіональному напруженні для циліндричної оболонки, що дозволяє поздовжньо стягувати обичайку при виникненні внутрішнього тиску. Циклічна робота керованої затяжки дає можливість значно знизити амплітуду внутрішніх сил і тим самим зменшити масу рамної системи елементів самохідного кормозбирального комбайна.

Напруження, що виникають в обичайці від введення нової затяжки, матимуть такий вигляд:

$$\sigma_{tmax}'' = 0, \sigma_{mmax}'' = -\frac{8N_s}{S_{\epsilon mk}}. \quad (3)$$

Складаючи (1), (2) і (3), отримуємо, що сумарні колові напруження при спільній роботі ємності з поздовжньою та поперечною затяжками, залишилися без зміни, і не відрізняються від (1), та графіка (рис. 1, а), а меридіональні зменшилися на величину (3) і будуть мати такий вигляд:

$$\sigma_{mmax} = \frac{6}{h^2 k} e^{-\xi} \left[-\frac{q}{2} \sin \xi + \frac{q}{4} (\cos \xi + \sin \xi) \right] + \frac{pR}{2h} - \frac{8N_s}{S_{tmk}}. \quad (4)$$

Математичною моделлю для подальшого дослідження конструкції затяжок можна вважати вирази (1), (4).

Графік меридіонального напруження з урахуванням (4), представлений на (рис. 3).

З аналізу графіків (рис. 1, рис. 3) можна дійти невтішного висновку, що з заданих значення q і N , колові та меридіональні напруження, коли працюють обидві затяжки, знаходяться нижче межі витривалості матеріалу ($\sigma_0 = 235 \text{ МПа}$).

Отже, маса рамної системи елементів самохідного кормозбирального комбайна може бути значно знижена, за рахунок зменшення товщини обичайки.

Тому пропонується новий принцип зниження матеріаломісткості металоконструкцій. Створення додаткових зовнішніх сил за допомогою керованих затяжок, який передбачає використання енергетичного джерела.

Для пружних механічних систем він може бути двох типів: зовнішній, що представляє енергетичну машину (машину – двигун) і внутрішній, що використовує внутрішню енергію пружного деформування (пружну енергію) основної конструкції, що розвантажується. Використання пружної енергії для розвантаження, що не суперечить основним законам механіки, і дозволить створювати такі конструкції, які за рахунок зміни своєї форми і жорсткості, в критичні моменти могли б саморозвантажуватися без великих відхилень від заданих технологічних і експлуатаційних параметрів кормозбирального комбайна.

Система зовнішніх сил, прикладених до конструкції, змінюється у часі і водночас є системою статично прикладених сил. Їх робота $A = W$ – потенційної (пружної) енергії, запасеної конструкцією в процесі її деформування. При знятті зовнішніх сил конструкція за рахунок акумульованої енергії W повертається у вихідний (недеформований) стан.

Підключення до деформованої основної конструкції керованої затяжки, яка використовує внутрішню енергію W може призвести до залишкових деформацій матеріалу основної конструкції і, в результаті, порушення технологічних режимів роботи машини або споруди в цілому.

Тому, очевидно, відбір частини пружної енергії необхідно проводити за час деформування між початковим і кінцевим положеннями основної конструкції, що деформується, тобто між нульовим і кінцевим значеннями статично прикладається зовнішньої сили. Тоді, керована затяжка, взявши він частину роботи зовнішніх сил, отже частина енергії ($W_{\text{зат}}$), дозволить основній конструкції запасти енергію $W_{\text{ок}}$ згідно з виразом (5):

$$W = W_{\text{ок}} + W_{\text{зат}}. \quad (5)$$

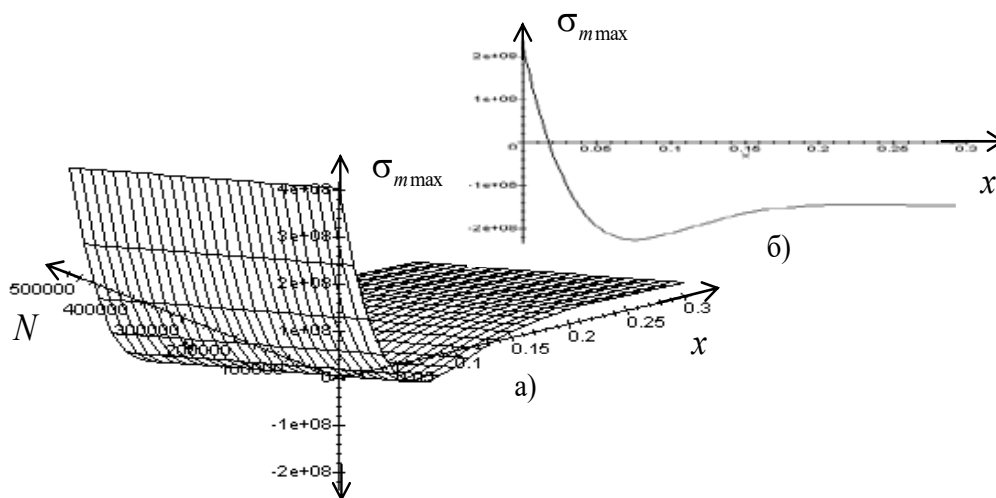


Рис. 3. Сумарний графік для аналізу меридіонального напруження: а) графік залежності

$$\sigma_{mmax} = f(N, x); \text{ б) розшифрування графіка а) при } N_7 = 520 \text{ кН}$$

На підставі цього рівняння (5) необхідно проектувати керовані затяжки, що використовують для свого функціонування запасну пружну енергію основної конструкції.

Розглянемо елемент несучої рами кормозбирального комбайна, у вигляді двоопорної балки. Нехай ця балка 1 (рис. 4), шарнірно закріплена на кінцях, навантажується статично прикладається в її середині силою $F = f(t)$. Шарніри вводимо для спрощення експерименту.

При досягненні балкою у точці докладання сили F проміжного прогину w верхній пояс (пунктир) входить у зіткнення зі стрижнем 2, шарнірно з'єднаним у точці C з майже миттєво змінюваною системою, що складається зі стрижнів (струн) 3 та шарнірів A і B . При подальшому прогинанні балки шарнір C переміщується у становище C_1 , і, як наслідок, у шарнірах D і E виникають сили, що розтягують стислий верхній пояс балки. Затягування AC_1B та важільна система AD , BE запасують частину енергії деформування W , а саме $W_{зат}$ балка приймає енергію $W_{ок}$. При зменшенні сили F частина енергії деформування $W_{зат}$ йде на відновлення початкового положення важільної системи та керованої затяжки, інша частина ($W_{ок}$) – на відновлення початкової форми балки 1. У результаті роботи системи «балка – керована затяжка» верхній пояс балки відчуває напруження набагато меншу інтенсивність, ніж нижній, і враховуючи, що

$F = f(t)$, шляхом підбору плечей важелів AD , BE та початкового кута α нахилу стрижнів 3 до горизонталі, можна досягти рівня напруження менше межі витривалості матеріалу балки.

Наведений вище приклад використання керованої затяжки можна застосувати для зниження матеріаломісткості для балок великих прольотів при неможливості установки проміжних опор. Направляюча 5 (рис. 4) може бути закріплена на балці.

Грунтуючись на рис. 4 і вищевикладеного матеріалу було змодельовано тривимірну модель однопролітної балки у програмі SolidWorks. Включення затяжки відбуватиметься в той момент, коли прогин балки складе 10мм, а напруження, що виникають у ній, досягають межі витривалості матеріалу верхнього пояса.

На підставі цієї моделі було проведено теоретичний розрахунок, і досліджено напруження, що виникають у верхньому поясі балки, з використанням методу кінцевих елементів.

Модель балки, необхідна першого етапу розрахунку, представлена на (рис. 5, б). Товщина верхнього та нижнього поясів у даному випадку була збільшена на 2мм і складає 4мм.

Використовуючи метод кінцевих елементів, була теоретично досліджена система «однопролітна балка + опорна рама» (див. рис. 5, б), і визначена величина

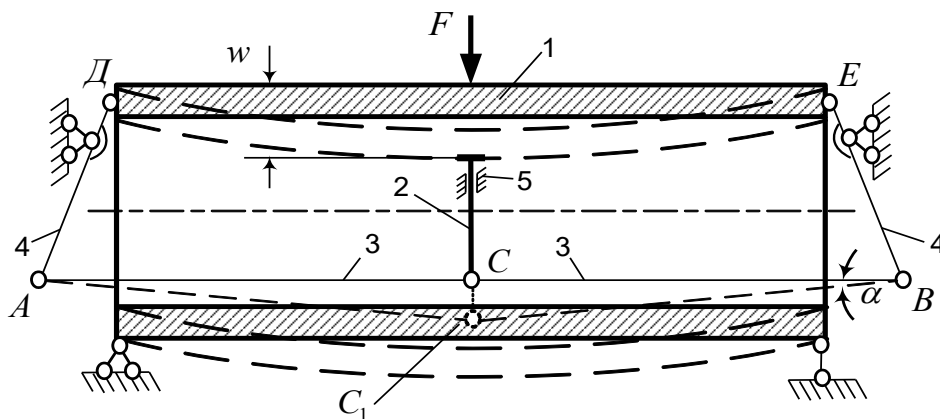


Рис. 4. Ескіз балки з керованою затяжкою

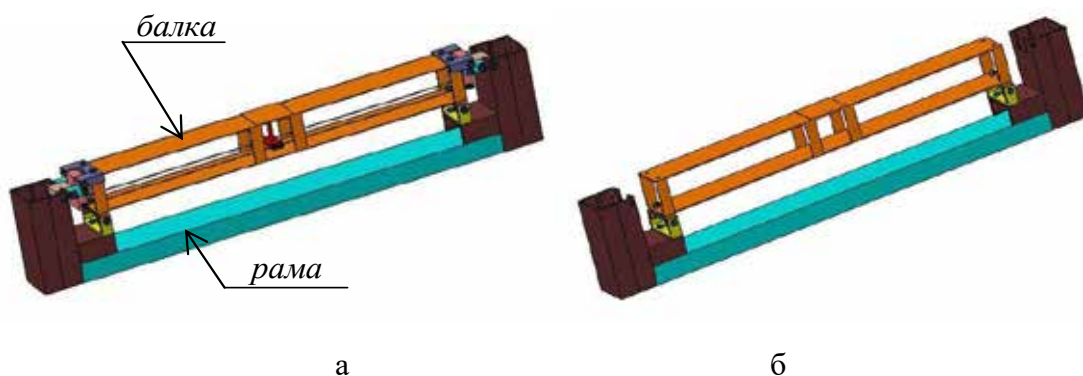
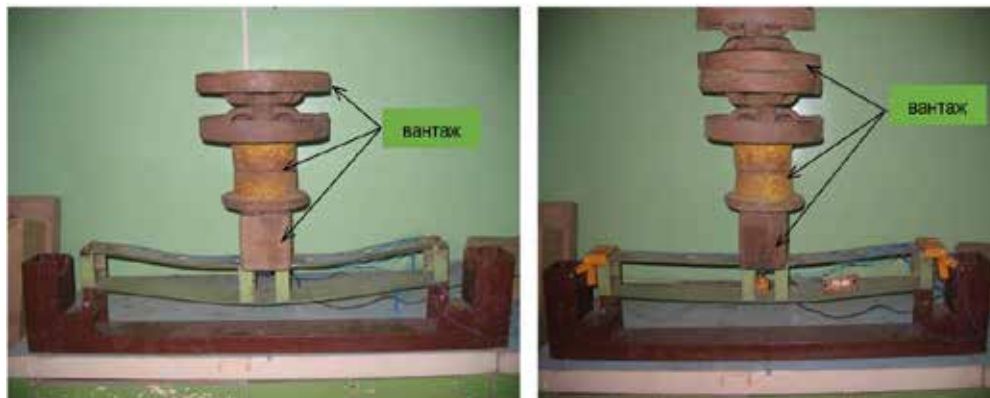


Рис. 5. Тривимірна модель однопролітної балки: а) з керованою затяжкою; б) без керованої затяжки



а

б

Рис. 6. Експериментальне встановлення: а) без керованої затяжки; б) з керованою затяжкою

напруження, що виникають, для різних етапів навантаження.

Розрахунок проводився із використанням програми CosmosWorks.

Модель (рис. 5, б):

1. з SolidWorks було переведено в CosmosWorks та вибрано вправу (сітка на твердому тілі);
2. задавався матеріал для кожного елемента моделі;
3. вводилися обмеження (модель фіксувалася);
4. прикладалася статична вертикальна навантаження у центральній частині балки;
5. задавалися пари стикування, тобто тих деталей, які обертаються і нерухомо стикаються, вводилися додаткові обмеження;
6. модель розбивалася на кінцеві елементи, тобто створювалася сітка на твердому тілі;
7. проводився розрахунковий аналіз моделі.

Балка розраховувалася для п'яти величин навантажень, починаючи з 200 H і наступним збільшенням навантаження на 120 H . Максимальне навантаження, яке сприймала балка, становило 680 H . Саме при цьому навантаженні передбачалося, що напруги в балці, яка мала товщину кожного пояса по 4 мм і працювала без керованої затяжки, наближаються до межі витривалості, яка для сталі Ст3 дорівнює 220 МПа .

Результати, отримані після розрахункового аналізу (пункт 7) проведеного CosmosWorks, представлені в таблиці 1.

Аналізуючи таблицю 1, можна сказати, що:

1. при максимальному навантаженні, а саме $F_{\max} = 680\text{ H}$, напруження у верхньому поясі наближаються до межі витривалості та становлять $\sigma_{\max} = 200\text{ МПа}$;
2. найбільш небезпечними ділянками є центральна частина балки та торцеві частини.

Далі проводився розрахунковий аналіз балки, представленої на (рис. 5, а) (затягування включено).

Затягування включалося в роботу (автоматично, без допомоги зовнішніх енергетичних джерел) в той момент, коли напруження в балці складала величину 200 МПа ,

у цьому випадку прогин мав величину 10 мм , і далі балка працювала разом із затяжкою. У даному варіанті балка розраховувалася для семи величин навантажень, починаючи з 200 H і наступним збільшенням навантаження на 120 H .

Таблиця 1

Напруження, що виникають у верхньому поясі однопролітної балки (шість кінцевих елементів) (затягування відключено) при навантаженнях 200 та 680 H

| №, KE F, H | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | σ_T | σ_T | σ_T | σ_T | σ_T | σ_T |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 60 | -10 | -30 | -30 | -10 | 60 |
| 680 | 200 | -70 | -130 | -130 | -70 | 200 |

Максимальне навантаження, яке сприймала балка становило 920 H . Саме при цьому навантаженні передбачалося, що напруги в балці, яка має товщину кожного пояса по 2 мм та працюючої спільно з керованою затяжкою, наближаються до межі витривалості.

Результати, отримані після розрахункового аналізу (пункт 7) проведеного в CosmosWorks, представлені в таблиці 2 (розрахунки проводилися аналогічно до всіх пунктів, коли балка була з відключеною затяжкою).

Аналізуючи таблицю 2, можна сказати, що:

1. напруження при навантаженні в 680 H значно менше тих напружень, які були отримані для балки без затягування (див. таблицю 1), це свідчить про те, що затяжка в даний момент починає ефективно працювати.
2. при максимальному навантаженні, а саме $F_{\max} = 920\text{ H}$ напруження у верхньому поясі не виходять за межу витривалості матеріалу, з якого зроблена балка і складають $\sigma_{\max} = 200\text{ МПа}$;
3. найбільш небезпечними ділянками згідно з таблицею 2, як і раніше, залишаються центральна частина балки і торцеві частини (місця кріплення важільного квазімеханізму, в яких виникає крайовий ефект).

Таблиця 2

Напруження, що виникають у верхньому поясі однопролітної балки (шість кінцевих елементів) та затягування (сьомий кінцевий елемент) (затягування включено) при навантаженнях 200, 680 та 920 Н

| №, KE F, Н | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | σ_T | σ_T | σ_T | σ_T | σ_T | σ_T | σ_T |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 12 | -5 | -60 | -60 | -5 | 12 | 0 |
| 680 | 90 | -12 | -160 | -160 | -12 | 90 | 3,5 |
| 920 | 150 | -15 | -200 | -200 | -15 | 150 | 8,5 |

З метою підтвердження наведених вище розрахунків було проведено експериментальні дослідження. Для лабораторного тестування на основі електротензометрії створено дослідний зразок двоопорної однопролітної балки з відключеною та підключеною затяжкою.

Перший етап експерименту. Балка без керованої затяжки з товщиною верхнього та нижнього поясів по 4мм кожен (до вихідної балки додавалися верхній і нижній знімні пояси завтовшки по 2мм). Навантаження здійснювалося поетапно у п'ять підходів, починаючи з 200Н і подальшим збільшенням навантаження на 120Н для кожного підходу. Загальне навантаження становило 680Н (рис. 6, а). Для кожного етапу навантаження фіксувалися показання тензодатчиків (число яких досягало семи на верхньому поясі) за допомогою приладу ІТЦ-01, що має похибку вимірювань 1%. Бували виправлені графіки $n = f(F)$ і на їх основі складено таблицю, в якій були отримані напруги за формулою (6):

$$\sigma_{ij} = \alpha \cdot (n_j - n_0) [\text{МПа}], \quad (6)$$

де n_j – показання приладу для i -го тензодатчика j -го навантаження; n_0 – показання приладу при нульовому положенні (тобто без навантаження).

На підставі таблиці були побудовані епюри напруги для верхнього пояса балки (рис. 7, а).

Другий етап експерименту. Балка з керованою затяжкою з товщиною верхнього та нижнього поясів по 2мм кожен. Навантаження здійснювалося поетапно в сім під-

ходів, починаючи з 200Н і з подальшим збільшенням навантаження на 120Н при кожному підході. Загальне навантаження становило 920Н (рис. 7, б). Для кожного етапу навантаження фіксувалися показання тензодатчиків (число яких досягало семи на верхньому поясі та один на розкосі керованої затяжки) за допомогою приладу ІТЦ-01, що має похибку вимірювань 1%. Бували виправлені графіки $n = f(F)$, і на їх основі було складено таблицю, в якій були отримані напруження за формулою (6). На підставі таблиці були побудовані епюри напруги для верхнього пояса балки (рис. 7, б).

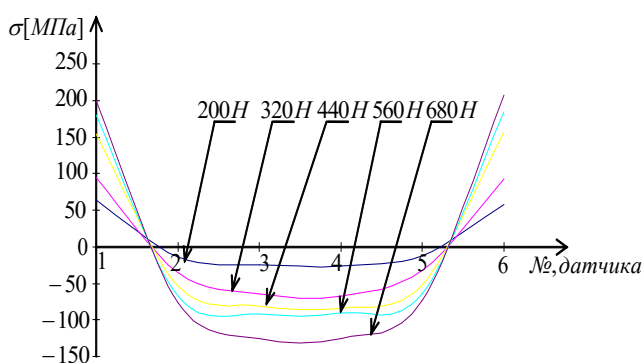
При аналізі епюр напруги (рис. 7, а) можна зробити висновок:

- максимальне напруження не перевищує межі витривалості (для СтЗ, з якої зроблена балка – 220МПа);
- у зоні кріплення верхнього пояса балки до важільного квазімеханізму (перший та шостий тензодатчики) виникає крайовий ефект (розтягування з $\sigma_{\max} = 208\text{МПа}$);
- зона верхнього пояса балки між другим і п'ятим тензодатчиками стиснута та напруження при максимальному навантаженні не перевищують межі витривалості.

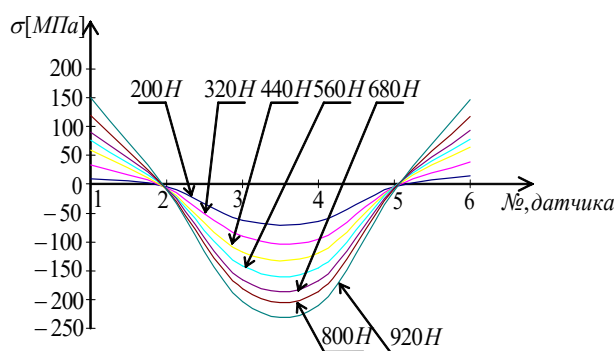
При аналізі епюр напруги (рис. 7, б) можна зробити висновок: при збільшенні зовнішнього навантаження в 1,5 рази максимальне напруження не перевищує межі витривалості; напруження крайового ефекту в зоні кріплення верхнього пояса стає меншою.

Обговорення. При порівняльному аналізі епюр напружень (рис. 7, а, б) можна говорити про підвищення несучої здатності системи елементів самохідного кормозбирального комбайна із затяжкою, причому маса балки без затяжки 11% більше маси балки із затяжкою (Rogovskii et al., 2022). Тобто при меншій матеріаломісткості рамна система елементів самохідного кормозбирального комбайна з затяжкою має здатність (Hrynkiv et al., 2020), що несе, приблизно в 1,5 рази вище, ніж рамна система без затяжки. Цей ефект посилюється зі збільшенням прольоту балки, оскільки конструкція важільних елементів 4 (див. рис. 4) залежить від величини прольоту, а розкоси керованої затяжки є струни (чи струнні системи) і їх маси зі збільшенням довжини дуже незначно (Sarkar et al., 2021).

Висновки. Розроблено математичні моделі керованих затяжок рамної системи елементів самохідного



а



б

Рис. 7. Епюри напруги: а) затягування вимкнено; б) затягування включене

Порівняльні результати теоретичних σ_T та експериментальних σ_e напружень по окремих навантаженнях (без затяжки)

| №, датчика F, Н | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 60 | 63 | -10 | -14 | -30 | -25 | -30 | -27 | -10 | -12 | 60 | 58 |
| 680 | 200 | 200 | -70 | -76 | -130 | -126 | -130 | -125 | -70 | -74 | 200 | 208 |

Таблиця 4

Порівняльні результати теоретичних σ_T та експериментальних σ_e напружень по окремих навантаженнях (із затяжкою)

| №, датчика F, Н | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e | σ_T | σ_e |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 12 | 10 | -5 | -5 | -60 | -62 | -60 | -65 | -5 | -4 | 12 | 14 | 0 | 0 |
| 680 | 90 | 90 | -12 | -8 | -160 | -166 | -160 | -168 | -12 | -6 | 90 | 93 | 3,5 | 3,5 |
| 920 | 150 | 150 | -15 | -10 | -200 | -203 | -200 | -210 | -15 | -11 | 150 | 147 | 8,5 | 8,5 |

кормозбирального комбайна, що дозволяють значно знизити матеріаломісткість тонкостінних та рамних сільськогосподарських конструкцій, що знаходяться під впливом циклічних змін зовнішніх сил. Застосовано поздовжню керовану затяжку, що має зовнішнє енергетичне джерело (пневмосистему), яка, при спільній роботі з поперечною керованою затяжкою, дозволила знизити масу рамної системи елементів самохідного кормозбирального комбайна на 18 %. Побудовано та

експериментально перевірено математичну модель керованої затяжки, яка використовує для свого функціонування енергію пружного деформування рамних систем елементів самохідного кормозбирального комбайна. Вперше для балкових елементів конструкцій сільгоспмашин, розроблено та застосовано комбіновану струнну керовану затяжку, яка дозволила зменшити матеріаломісткість рами на 11% та підвищити її несучу здатність у 1,5 рази.

Бібліографічні посилання:

1. Bayan, Kh., Shogenov, Yu. & Starovoytov, S. (2021). Tillage unit with new design working bodies for minimal tillage. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 937(3): 032049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032049>.
2. Bazaluk, O., Havrysh, V. & Fedorchuk, M. (2021). Energy assessment of sorghum cultivation in Ukraine. Agriculture, 11: 695. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080695>.
3. Carter, J., Petersenn, R. & Cochran, B. (2015). Designing exhaust systems to minimize energy costs. Ashrae Journal, 47(7): 18–22.
4. Cherniavskih, V. I., Dumacheva, E. V. & Marinich, M. N. (2021). The role of perennial grasses in the accumulation of organic matter in soil-saving agriculture. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 901(1): 012056. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012056>.
5. Dahiya, R. & Singh, S. (2016). First total synthesis and biological potential of a heptacyclopeptide of plant origin. Chinese Journal of Chemistry, 34(11): 419–432. <https://doi.org/10.1002/cjoc.201600419>.
6. David, A., Voicu, G. & Duțu, M. (2015). The dynamics of the deep soil loosening machine – tractor unit. U.P.B. Sci. Bull., Series D, 77(4): 275–286.
7. Feng, X., Hao, Y. & Latifmanesh, H. (2018). Effects of subsoiling tillage on soil properties, maize root distribution, and grain yield on mollisols of Northeastern China. Agronomy Journal, 110(4): 27–41. <https://doi.org/10.2134/agnonj2018.01.0027>.
8. Forgó, Z., Tolvaly-Ros, ca F., Pásztor, J. & Kovari, A. (2021). Energy consumption evaluation of active tillage machines using dynamic modelling. Application Science, 11: 6240. <https://doi.org/10.3390/app11146240>.
9. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
10. Liu, Z., Cao, S. & Sun, Z. (2021). Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. Scientific Reports, 11: 4611. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84191-z>.
11. Moraru, P. & Rusu, T. (2012). Effect of tillage systems on soil moisture, soil temperature, soil respiration and production of wheat, maize and soybean crops. Journal of Food Agriculture and Environment, 10(2): 445–448.
12. Murillo, J., Moreno, F. & Madejón, E. (2016). Improving soil surface properties: a driving force for conservation tillage under semi-arid conditions. Spanish Journal of Agricultural Research, 4(1): 97–104.
13. Nazarenko, I., Dedov, O., Bernyk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.

14. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
15. Piao, L., Li, M. & Xiao, J. (2019). Effects of soil tillage and canopy optimization on grain yield, root growth, and water use efficiency of rainfed maize in Northeast China. *Agronomy*, 9: 339. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060336>.
16. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
17. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadochiiy, O. V. (2021). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
18. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskiy, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
19. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Haponenko, O. I., Ohienko, M. M. & Kulik, V. P. (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. *INMATEH. Agricultural Engineering*, 60(1): 45–52. <https://doi.org/10.35633/inmateh-60-05>.
20. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
21. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
22. Sarkar, P., Upadhyay, G. & Raheman, H. (2021). Active-passive and passive-passive configurations of combined tillage implements for improved tillage and tractive performance. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 19(4): e02R01-e02R01. <https://doi.org/10.5424/sjar/2021194-18387>.
23. Tarasenko, B. F., Orlenko, S. Y. & Kuzmin, V. V. (2021). Universal tillage unit. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 666(3): 032092. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/3/032092>.
24. Turebayeva, S., Zhapparova, A. & Yerkin, A. (2022). Productivity of rainfed winter wheat with direct sowing and economic efficiency of diversified fertilization in arid region of South Kazakhstan. *Agronomy*, 12: 111. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010111>.
25. Xia, P., Guo, H. & Ru, M. (2017). Accumulation of saponins in *Panax notoginseng* during its growing seasons. *Industrial Crops and Products*, 104: 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.045>.

Hneniuk M. V., Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Operational safeguarding of frame structures of forage harvesting combiners

In the article, the author presents the results of one of the research tasks, namely, the creation of controlled puffs that use for their operation the energy of elastic deformation of the unloaded system, which will make it possible to do without an external energy source. In order to achieve effectiveness and solve this problem, a three-dimensional model of the main deformable frame structure was simulated, an algorithm for calculating this model using the finite element method was developed, and an experiment was conducted based on strain gauges and the obtained experimental results were compared with the theoretical ones.

The article presents the analysis of circular and meridional stresses, while in the zone of controlled tightening, the meridional stresses σ_{mmax} exceed the circular stresses σ_{imax} by 2.2 times, that is, there is a redistribution of stress and the effect of the introduction of transverse controlled tightening is significantly decreasing. The system of elements of the self-propelled forage harvester when unloading fodder plant remains, in addition, feels the stretching force. It is substantiated that a feature of such systems is that the forces applied from the outside to the controlled puffs and the resulting control loads can be in the same plane, in mutually perpendicular directions. The system of external forces applied to the structure changes over time and at the same time is a system of statically applied forces. Removal of external forces of the structure at the expense of accumulated energy returns it to its original (undeformed) state. Connecting to a deformed main structure of a controlled pull that uses internal energy can lead to residual deformations of the material of the main structure and, as a result, a violation of the technological modes of operation of the machine or the structure as a whole. Therefore, as a result, the selection of a part of the elastic energy must be carried out during the deformation between the initial and final positions of the main deformable structure, that is, between the zero and final values of the statically applied external force.

The author decided to create and develop longitudinal controlled drafts for the system of elements of a self-propelled forage harvester, which are necessary to reduce the meridional stress σ_m , which arise in the perimeter wall when it is unloaded, and have a maximum value in the zones of influence of transverse drafts. To solve this problem, a mathematical model was built, and the dependence of the obtained expressions σ_t and σ_m was investigated, based on which, a rational design of such pulls of the system of elements of the self-propelled forage harvester was selected. The purpose of such research was to obtain designs of the system of elements of a self-propelled forage harvester, which have an increased ability to be operated, with a lower material consumption.

Key words: system, norm, repair, production, harvester.

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ СТРУКТУРНОГО АГРЕГАТУ ҐРУНТУ РОБОЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА

Дворник Андрій Віталійович

кандидат технічних наук

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

ORCID: 0000-0001-8242-4250

a.dvornyk@ukr.net

Визначено умови руху структурного агрегату ґрунту, що визначає границю між двома режимами роботи глибокорозпушувача. Якщо швидкість руху ґрунту по поверхні глибокорозпушувача на рівні глибини обробітку менше нуля, то глибокорозпушувач працює в режимі розпушування. Кут між дотичною до напрямної у початку координат та горизонталлю – кут підйому α_0 вибирається так, щоб пластичні деформації не потрапляли у дно борозни і не ущільнювали її. При цьому математична модель обробітку ґрунту складена з урахуванням допущень: рух робочого органу є поступальним, коли всі точки глибокорозпушувача мають тотожні швидкості і прискорення; глибокорозпушувач рухається з деякою середньою усталеною швидкістю, тобто в першому наближенні рівномірно; згідно експериментальних досліджень співударення ґрунтових мас з робочою поверхнею глибокорозпушувача під час обробітку є непружними з нехтовно малим коефіцієнтом відновлення; лівосторонню систему координат, пов'язану з серединою робочого леза глибокорозпушувача, відносно якої досліджується рух ґрунту і яка поступально і рівномірно рухається разом з машинно-тракторним агрегатом під час усталеного процесу смугового обробітку, вважаємо інерційною системою відліку з високим ступенем точності; сили взаємодії окремого структурного агрегату ґрунту, рух якого досліджується, з іншими структурними агрегатами ґрунту потоку ґрунту вважаються у першому наближенні зрівноваженими, а тому не враховуються. В статті обґрунтовано, що рух структурного агрегату ґрунту не залежить від рушійних сил енергетичного засобу, а переходить у самостійний рух під дією сили ваги, сили реакції поверхні з врахуванням сили тертя структурного агрегату ґрунту по металевій поверхні, які заважають вільному руху. Для визначення величини швидкості в залежності від кута установки леза до горизонту скористались загальновідомим рівнянням рівноваги структурного агрегату ґрунту на поверхні глибокорозпушувача. Автором складено систему нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку, яка відображає рух структурного агрегату ґрунту вздовж параболічної циліндричної поверхні глибокорозпушувача. Враховуючи, що нормальна складова реакції перпендикулярна до осі Oy , зроблено висновок, що всі прикладені сили розміщені в центральній площині симетрії глибокорозпушувачу, а тому вектори швидкості і прискорення структурного агрегату ґрунту не проєктуються на вісь Oy .

Ключові слова: структурний агрегат ґрунту, глибокорозпушувач, робоча поверхня, рух по поверхні.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.4>

Постановка проблеми. Розгляд питань землеробської механіки набув грандіозних результатів із коლოსальною кількістю наукових праць присвячених побудові відповідних моделей руху ґрунту (Hrynkiv et al., 2020) та структурних агрегатів ґрунту (Rogovskii et al., 2019). Проте аналіз даних стосовно руху ґрунту робочою поверхнею глибокорозпушувача для забезпечення якості обробітку ґрунту з одночасним зменшенням енергозатрат залишається актуальним для подальшого дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з можливих варіантів робочої поверхні глибокорозпушувача може бути циліндрична поверхня (Hossain et al., 2014), твірні якої паралельні осі Oy (Foley et al., 2012), тобто горизонтальні (Rogovskii et al., 2020), але розміщені за законом параболи (Nazarenko et al., 2021).

Рівняння параболічної поверхні в лівій прямокутній системі декартових координат Oxz коли $y=0$, має вигляд:

$$z = \sqrt{L} - \sqrt{L-x}, \quad (1)$$

де L – довжина робочої поверхні вздовж осі Ox .

Для обґрунтування розглянуто виведення рівняння параболи (1) згідно рис. 1. Із параболи, яка розміщена симетрично відносно осі Ox $z^2 = L-x$; $\Rightarrow z = \pm\sqrt{L-x}$;

при $x=0: z = \pm\sqrt{L}$; при $x=L: z=0$. Переміщену вісь симетрії параболи паралельно догори на величину \sqrt{L} . $(z - \sqrt{L})^2 = L-x$; $z - \sqrt{L} = \pm\sqrt{L-x}$; $\Rightarrow z = \sqrt{L} \pm \sqrt{L-x}$. Потрібна вітка параболи має вигляд: $z = \sqrt{L} - \sqrt{L-x}$ (Pöhltz et al., 2018), при $x=0: \Rightarrow z = \sqrt{L} - \sqrt{L} = 0$ (Rogovskii et al., 2021); при $x=L: \Rightarrow z = \sqrt{L}$ (Vaitauskienė et al., 2017). Таким чином (Charmen et al., 2015), вісь симетрії параболи зміщена догори паралельно осі Ox (Lekavičienė et al., 2019) і проходить через вершину параболи точку C з координатами $C(L; \sqrt{L})$ (Yinyana et al., 2019). Отже, вибираємо для досліджуваної поверхні глибокорозпушувача нижню вітку параболи, що розміщується від початку координат O до її вершини в точці C за формулою (1).

Рух структурного агрегату ґрунту розглядається як невільний рух (Rogovskii et al., 2021), оскільки фізично спрямовується і обмежується площиною, з глином або параболічною поверхнею, за якою вимушена рухатись ця частина ґрунту (Celik, 2013). Виразивши рівняннями в'язей у вигляді функціональної залежності від координат $f(x, y, z) = 0$, поверхні або лінії, по якій рухається структурний агрегат ґрунту (Rogovskii et al., 2022). Коор-

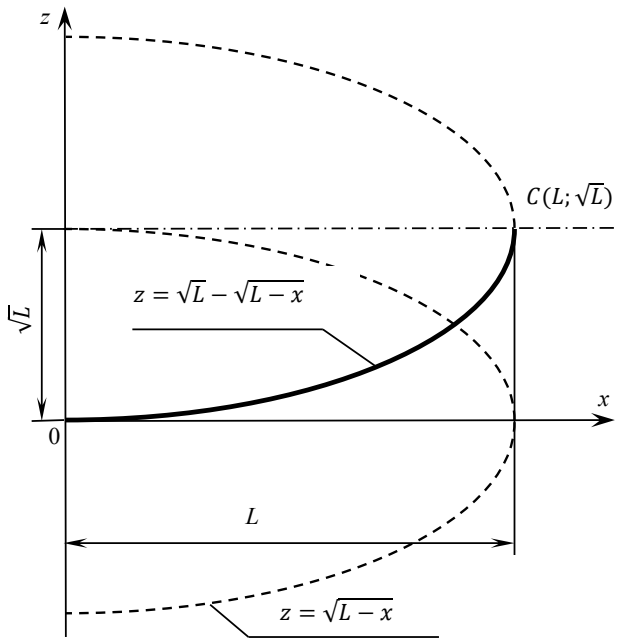


Рис. 1. Схема до виведення рівняння параболи

динати структурного агрегату ґрунту мають задовольняти цьому рівнянню, коли рух шорсткою поверхнею з тертям (Romaniuk et al., 2018). Повну реакцію шорсткої поверхні розкладемо на дві взаємно перпендикулярні складові вздовж головної нормалі в даній точці кривої N і вздовж дотичної до поверхні, за якою рухається структурний агрегат ґрунту (Rogovskii, 2019). Крім векторів нормальної складової реакції \vec{N} і сили тертя \vec{F}_{TP} на точку діє і вертикальна сила ваги G (Н), як добуток маси m на прискорення вільного падіння g , $G = mg$, (Н).

Метою досліджень є дослідження руху ґрунту робочою поверхнею глибокорозпушувача.

Результати досліджень. Для вивчення невідомого руху структурного агрегату ґрунту по заданій нерухомій кривій або кривій, що рухається поступально і рівномірно, можна використовувати натуральний тригранник $M\tau n b$, три взаємо перпендикулярні осі якого розміщуються по дотичній до кривої в даній точці по головній нормалі і по бінормалі, а початок координат – в точці M , рух якої досліджується (рис. 2: M_i – n -ий структурний агрегат ґрунту; k, \bar{i} – осі руху n -го структурного агрегату ґрунту; O – початок координат по відношенню до глибокорозпушувача; R – умовний радіус траєкторії структурного агрегату ґрунту, м; \vec{G} – сила тяжіння, що діє на n -ий структурний агрегат ґрунту, Н; \vec{F}_{TP} – сила тертя, що діє на n -ий структурний агрегат ґрунту при русі робочою поверхнею, Н; \vec{N} – рівнодіюча сила, що діє на n -ий структурний агрегат ґрунту n -ої частинки ґрунту, Н; ϕ – кут відхилення n -ого структурного агрегату ґрунту від початку руху; \bar{v} – швидкість руху n -ого структурного агрегату ґрунту у відповідній точці, м/с).

Оскільки на бінормаль не проєктуються вектори сил і кінематичних параметрів, то вона на рисунку не показана. Точка додатного відліку переміщення O розміщена на початку руху на дні борозни, вектор початко-

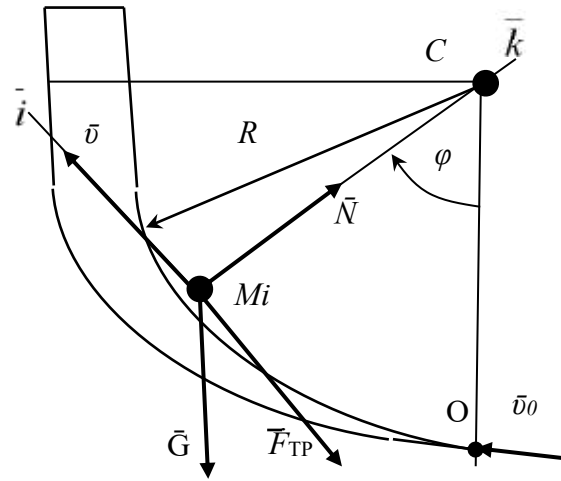


Рис. 2. Спрощена розрахунково-силова схема дослідження руху структурного агрегату ґрунту M_i робочою поверхнею глибокорозпушувача в натуральних осях координат

вої швидкості \bar{v}_0 горизонтальний. Координатні осі τ, n рухаються разом з структурним агрегатом ґрунту і змінюють своє положення згідно характеру кривої. Головна нормаль n спрямована до точки C , на якій розміщений вектор сили нормальної реакції \vec{N} . Вздовж дотичної τ розміщені вектор поточної швидкості \vec{v} і протилежний йому вектор сили Кулонового тертя \vec{F}_{TP} . До точки прикладений також вектор сили ваги \vec{G} .

Складемо диференціальне рівняння руху невідомого структурного агрегату ґрунту у векторній формі відносно криволінійної поверхні глибокорозпушувача $m\vec{a} = \vec{G} + \vec{N} + \vec{F}_{TP}$. Спроекуємо вектори рівняння на осі натуральної системи координат, використавши кут ϕ , який координує положення точки. На початку руху при $t = t_0$ цей кут $\phi_0 = 0$, а початкова швидкість дорівнювала \bar{v}_0 . Отримаємо наступні два скалярних рівняння в проєкціях на натуральні осі τ, n :

$$m \frac{dv}{dt} = -G \sin \phi - F_{TP}. \quad (2)$$

$$m \frac{v^2}{R} = N - G \cos \phi. \quad (3)$$

де m – маса структурного агрегату ґрунту, кг; ϕ – поточний кут, рад; R – радіус кола, м.

Підставляємо сталу інтегрування C_1 в загальний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння i , враховуючи, що $v^2 = \dot{\phi}^2 R^2$, остаточно отримуємо шуканий закон зміни квадрата швидкості структурного агрегату ґрунту від кута ϕ , який визначає її положення:

$$v^2 = \left(v_0^2 - \frac{2gR(1-2f^2)}{1+4f^2} \right) e^{-2\phi} - \frac{6gRf}{1+4f^2} \sin \phi + \frac{2gR(1-2f^2)}{1+4f^2} \cos \phi. \quad (4)$$

Визначимо величину сили нормальної реакції N , оскільки швидкість в будь-який момент руху тепер відома:

$$N = m \left[v_0^2 - \frac{2g(1-2f^2)}{(1+4f^2)} \right] e^{-2\phi} - \frac{6gf}{(1+4f^2)} \sin \phi + \frac{2g(1-2f^2)}{(1+4f^2)} \cos \phi + mg \cos \phi. \quad (5)$$

Математична модель обробітку ґрунту складена з урахуванням допущень:

– рух робочого органу є поступальним, коли всі точки глибокорозпушувача мають тотожні швидкості і прискорення;

– глибокорозпушувач рухається з деякою середньою усталеною швидкістю, тобто в першому наближенні рівномірно;

– згідно експериментальних досліджень співвідношення ґрунтових мас з робочою поверхнею глибокорозпушувача під час обробітку є непружними з нехтовно малим коефіцієнтом відновлення;

– лівосторонню систему координат, пов'язану з серединою робочого леза глибокорозпушувача, відносно якої досліджується рух ґрунту і яка поступально і рівномірно рухається разом з машинно-тракторним агрегатом під час усталеного процесу смугового обробітку, вважаємо інерційною системою відліку з високим ступенем точності;

– сили взаємодії окремого структурного агрегату ґрунту, рух якого досліджується, з іншими структурними агрегатами ґрунту потоку ґрунту вважаються у першому наближенні зрівноваженими, а тому не враховуються.

Розглянемо далі рух структурного агрегату ґрунту вздовж робочої поверхні глибокорозпушувача, яка складається із плоского клину 1 довжиною l (рис. 3) і циліндричної параболічної поверхні 2 з параметром L , твірні якої горизонтальні і паралельні осі Oy . Початок лівої прямокутної декартової системи координат (точка O) розмістимо посередині ріжучої кромки леза глибокорозпушувача. Вісь Ox направимо горизонтально проти напрямку руху глибокорозпушувача, вісь Oz – вертикально вгору, а вісь Oy – перпендикулярно до осі Ox і в той же час паралельно твірній поверхні прямого кругового циліндра 2, яка з'єднується з поверхнею плоского клину 1. Структурний агрегат ґрунту M в довільному положенні під час руху по площині плоского клину 1, в подальшому переходить на циліндричну поверхню 2.

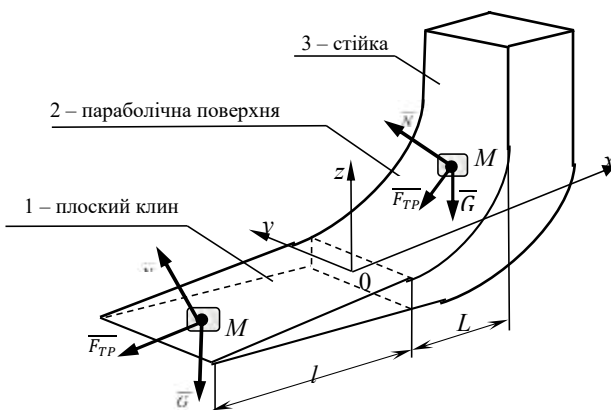


Рис. 3. Розрахункова схема взаємодії структурного агрегату ґрунту з поверхнями плоского клину і параболічною поверхнею та стійки глибокорозпушувача

У зв'язку з усталеним рухом енергетичного засобу припустимо, що початкова швидкість руху структурного агрегату ґрунту на першому етапі дорівнює поступальній швидкості машини $v_0 = v_{ox}$, але направлена вздовж осі Ox . Можна вважати, що проекції початкової швидкості на дві інші осі координат z та y дорівнюють нулю, звідки $v_{ox} = \dot{x}_0 = v_0$. Зберігається лише дотична складова вектору швидкості, яка стає початковою лінійною швидкістю структурного агрегату ґрунту, а нормальна складова є нехтовно малою. Тому під час руху структурного агрегату ґрунту по плоскому клину початкові умови руху мають вигляд:

$$t = t_0 = 0; \quad x = x_0(t_0) = 0; \quad y = y_0(t_0) = 0; \quad z = z_0(t_0) = 0;$$

$$v_x = \dot{x}_0(t_0) = \frac{v_0 M}{C}; \quad v_y = \dot{y}_0(t_0) = v_{0y} = 0;$$

$$v_z = \dot{z}_0(t_0) = v_{0z} = 0.$$

Рух структурного агрегату ґрунту не залежить від рушійних сил енергетичного засобу, а переходить у самостійний рух під дією сили ваги, сили реакції поверхні з врахуванням сили тертя структурного агрегату ґрунту по металевій поверхні, які заважають вільному руху.

Таким чином, диференціальне рівняння руху структурного агрегату ґрунту відносно поверхні глибокорозпушувача у векторній формі згідно основного закону динаміки для невідомої матеріальної точки матиме вигляд $m\vec{a} = \vec{G} + \vec{N} + \vec{F}_{TP}$. Зазначимо, що напрям вектора \vec{N} нормальної реакції, як сила дії поверхні на структурний агрегат ґрунту, формує конфігурація робочої поверхні, тобто її геометрія. Рівняння цієї поверхні є рівнянням в'язі під час руху по ній структурного агрегату ґрунту, від якого залежить відносний рух часток структурного агрегату ґрунту. Враховуючи векторне рівняння і рівняння в'язі $f(x, y, z) = kx - z = 0; \quad y = 0$, з врахуванням формули П. М. Василенка, складемо диференціальні рівняння руху структурного агрегату ґрунту плоским клином в координатній формі проєкцій на осі прямокутної декартової системи координат $Oxyz$:

$$m\ddot{x} = N \cos(\vec{i}, \vec{N}) + F_{TP} \cos(\vec{i}, \vec{v}),$$

$$m\ddot{y} = N \cos(\vec{j}, \vec{N}) + F_{TP} \cos(\vec{j}, \vec{v}),$$

$$m\ddot{z} = N \cos(\vec{k}, \vec{N}) + F_{TP} \cos(\vec{k}, \vec{v}) - G,$$

$$f(x, y, z) = \sqrt{L} - \sqrt{L-x} - z = 0; \quad (6)$$

де \vec{v} – вектор швидкості структурного агрегату ґрунту вздовж поверхні робочого органу, $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – орти або одиничні базисні вектори прийнятої лівої прямокутної декартової системи координат $Oxyz$ (рис. 1); $k = tg \frac{H}{L}$, – кутовий коефіцієнт пропорційності, H – кінцева висота клину, m , L – довжина клину по горизонталі у запропонованій конструкції, де останнє рівняння є рівнянням в'язі (6) у неявній формі.

Для визначення напрямних косинусів візьмемо частинні похідні від рівняння в'язі у неявній формі:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{2\sqrt{L-x}}; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial f}{\partial z} = -1. \quad (7)$$

Частинна похідна $\frac{\partial f}{\partial y}$ від функції в'язі $f(x, y, z)$

дорівнює нулю, оскільки ця функція не залежить від координати y . Визначимо градієнт функції в'язі $f(x, y, z)$

$$\Delta f = \sqrt{\frac{1}{4(L-x)} + 1} = \sqrt{\frac{1+4(L-x)}{4(L-x)}}. \quad (8)$$

Отримаємо величини напрямних косинусів:

$$\cos(\bar{i}, \bar{N}) = \frac{1}{\sqrt{1+4(L-x)}}, \cos(\bar{j}, \bar{N}) = 0, \cos(\bar{k}, \bar{N}) = -\frac{\sqrt{4(L-x)}}{\sqrt{1+4(L-x)}}. \quad (9)$$

Напрямний косинус між віссю Oy та нормальною складовою реакції \bar{N} , як можна побачити, дорівнює нулю, тому кут між ними $(\bar{j}, \bar{N}) = \frac{\pi}{2}$. Визначимо далі напрямні косинуси між осями координат та вектором швидкості \bar{v} , вздовж якого спрямована сила тертя ковзання, але протилежно за напрямом мають такі значення:

$$\begin{aligned} \cos(\bar{i}, \bar{v}) &= -\frac{\dot{x}}{v} = -\frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \cos(\bar{j}, \bar{v}) &= -\frac{\dot{y}}{v} = -\frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \cos(\bar{k}, \bar{v}) &= -\frac{\dot{z}}{v} = -\frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Підставляючи вирази у систему диференціальних рівнянь (7), отримаємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{N}{\sqrt{1+4(L-x)}} - fN \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}, \\ m\ddot{y} &= -fN \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}, \\ m\ddot{z} &= -N \sqrt{\frac{4(L-x)}{1+4(L-x)}} - fN \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} - mg, \\ z &= \sqrt{L} - \sqrt{L-x}; \quad y = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Система диференціальних рівнянь (11) є системою нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку, яка відображає рух структурного агрегату ґрунту вздовж параболічної циліндричної поверхні глибокорозпушувача. Враховуючи, що нормальна складова реакції \bar{N} перпендикулярна до осі Oy , можна зробити висновок, що всі прикладені сили розміщені в центральній площині симетрії глибокорозпушувача, а тому вважаємо, що вектори швидкості і прискорення структурного агрегату ґрунту не проєктуються на вісь Oy : $\dot{y} = 0$; $\ddot{y} = 0$. Тоді система рівнянь (11) набуває такого вигляду:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{N}{\sqrt{1+4(L-x)}} - fN \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}}, \\ m\ddot{z} &= -N \sqrt{\frac{4(L-x)}{1+4(L-x)}} - fN \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} - mg, \end{aligned}$$

$$z = \sqrt{L} - \sqrt{L-x}; \quad y = 0. \quad (12)$$

Початкові умови для системи диференціальних рівнянь мають наступний вигляд: $t = t_0 = 0$: $x = x_0 = 0$; $z = z_0 = 0$; $\dot{x} = \dot{x}_0 = v_0$; $\dot{z} = \dot{z}_0 = 0$. Прямокутну декартову систему координат $Oxyz$ розміщуємо на початку розташування параболічної поверхні з початком координат O на площі різання.

На структурний агрегат ґрунту діють сила ваги \bar{G} , сила нормальної реакції \bar{N} і сила Кулонового тертя \bar{F}_{TP} . Рівняння плоскої поверхні клину, твірні якого паралельні осі Oy , виглядає $z = kx$; $y = 0$, де $k = tg \frac{H}{l}$ – коефіцієнт пропорційності, H – кінцева висота клину, m , l – довжина клину по горизонталі у запропонованій конструкції. У неявній формі функція в'язі має вираз $f(x, y, z) = kx - z = 0$; $y = 0$.

Знайдемо частинні похідні та модуль градієнта функції в'язі:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = k; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial f}{\partial z} = -1; \quad \Delta f = \sqrt{k^2 + 1}. \quad (13)$$

Напрямні косинуси векторів сили тертя \bar{F}_{TP} і сили нормальної реакції \bar{N} мають такі вирази:

$$\begin{aligned} \cos(\bar{i}, \bar{v}) &= -\frac{\dot{x}}{v} = -\frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \cos(\bar{j}, \bar{v}) &= -\frac{\dot{y}}{v} = -\frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \cos(\bar{k}, \bar{v}) &= -\frac{\dot{z}}{v} = -\frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}. \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \cos(\bar{i}, \bar{N}) &= \frac{k}{\sqrt{k^2 + 1}}; \quad \cos(\bar{j}, \bar{N}) = 0; \\ \cos(\bar{k}, \bar{N}) &= -\frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}}. \end{aligned} \quad (15)$$

За врахуванням виразів (14), (15) та перпендикулярності векторів прикладених сил осі Oy складемо остаточно систему диференціальних рівнянь руху матеріальної точки у вигляді структурного агрегату ґрунту в проєкціях на осі декартової системи координат:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= N \frac{k}{\sqrt{k^2 + 1}} - fN \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}}, \\ m\ddot{z} &= -N \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} - fN \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} - mg, \\ z &= kx; \quad y = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Початкові умови для розв'язання системи диференціальних рівнянь з визначенням довільних сталих інтегрування мають вигляд $t = t_0 = 0$: $x = x_0(t_0) = -l$; $y = \dot{y}_0 = 0$; $z = z_0 = 0$; $\dot{x} = \dot{x}_0(t_0) = v_0$; $\dot{z} = \dot{z}_0 = 0$.

Для визначення величини швидкості в залежності від кута установки леза до горизонту скористаємося загаль-

новідомим рівнянням рівноваги структурного агрегату ґрунту на поверхні глибокорозпушувача:

$$m \frac{dV_R}{dt} = -f_1 Q - f_1 P \cos \alpha - P \sin \alpha, \quad (17)$$

де m – маса структурного агрегату ґрунту на поверхні долота, кг; V_R – швидкість руху структурного агрегату ґрунту на поверхні глибокорозпушувача, м/с; t – час руху структурного агрегату ґрунту на поверхні глибокорозпушувача, с; f_1 – коефіцієнт тертя ґрунту по матеріалу поверхні глибокорозпушувача, відносних од.; Q – відцентрова сила інерції, що діє на структурний агрегат ґрунту при русі по поверхні глибокорозпушувача, Н; P – вага структурного агрегату ґрунту, Н; α – кут установки леза до горизонту, град.

Увівши загальновідомі значення відцентрової сили інерції та ваги структурного агрегату ґрунту, які становлять:

$$m \frac{dV_R}{dt} = -f_1 m \frac{V_R^2}{R} - f_1 mg \cos \alpha - mg \sin \alpha \quad (18)$$

де g – прискорення сили тяжіння, м/с²; R – радіус напрямної поверхні, м.

Відповідно рішення даного рівняння:

$$V_R = uv; V_R' = u'v + v'u;$$

$$u'v + v'u + f_1 uv = -\frac{Rg}{uv} (f_1 \cos \alpha + \sin \alpha);$$

$$u'v + u(v' + f_1 v) = -\frac{Rg}{uv} (f_1 \cos \alpha + \sin \alpha);$$

$$v' + f_1 v = 0; \frac{dv}{d\alpha} = -f_1 v; \frac{dv}{v} = -f_1 d\alpha; \ln v = -f_1 \alpha; v = \exp(-f_1 \alpha);$$

$$uu' \exp(-2f_1 \alpha) = -Rg(f_1 \cos \alpha + \sin \alpha);$$

$$u \frac{du}{d\alpha} = -Rg \exp(2f_1 \alpha) (f_1 \cos \alpha + \sin \alpha);$$

$$\frac{u^2}{2} = -Rg \left[f_1 \exp(2f_1 \alpha) \cos \alpha d\alpha + \exp(2f_1 \alpha) \sin \alpha d\alpha \right];$$

$$\frac{u^2}{2} = -Rg \left[f_1 \frac{\exp(2f_1 \alpha)}{4f_1^2 + 1} (2f_1 \cos \alpha + \sin \alpha) + \frac{\exp(2f_1 \alpha)}{4f_1^2 + 1} (2f_1 \sin \alpha - \cos \alpha) \right];$$

$$\frac{u^2}{2} = -\frac{Rg \exp(2f_1 \alpha)}{4f_1^2 + 1} [f_1 (2f_1 \cos \alpha + \sin \alpha) + 2f_1 \sin \alpha - \cos \alpha];$$

$$u^2 = -\frac{2Rg \exp(2f_1 \alpha)}{4f_1^2 + 1} [f_1 (2f_1 \cos \alpha + \sin \alpha) + 2f_1 \sin \alpha - \cos \alpha];$$

$$u^2 = -\frac{2Rg \exp(2f_1 \alpha_0)}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha + 3f_1 \sin \alpha] + C;$$

$$V_R^2 = \left(-\frac{2Rg \exp(2f_1 \alpha_0)}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha + 3f_1 \sin \alpha] + C \right) \exp(-2f_1 \alpha)$$

Постійну інтегрування визначимо, скориставшись умовою, що для початкового моменту часу $t=0$ швидкість руху структурного агрегату ґрунту на поверхні плоского клину дорівнює швидкості руху глибокорозпушувача V , а кут установки клину до горизонту дорівнює початковому куту α_0 . В цьому випадку:

$$C = V^2 \exp(2f_1 \alpha_0) + \frac{2Rg \exp(2f_1 \alpha_0)}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha_0 + 3f_1 \sin \alpha_0]. \quad (19)$$

Підставляючи одержане значення постійної інтегрування, отримаємо наступний вираз для визначення швидкості руху ґрунту у функції кута підйому:

$$V_R^2 = -\frac{2Rg}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha + 3f_1 \sin \alpha] + V^2 \exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)] + \frac{2Rg}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha_0 + 3f_1 \sin \alpha_0] \exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)]. \quad (20)$$

Після перетворення одержимо:

$$V_R^2 = \left(V^2 - \frac{2Rg \exp[2f_1 (\alpha - \alpha_0)]}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha_0 + 3f_1 \sin \alpha_0] \right) + \frac{2Rg}{4f_1^2 + 1} [(2f_1^2 - 1) \cos \alpha_0 + 3f_1 \sin \alpha_0] \exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)]$$

$$V_R^2 = \left[V^2 - \frac{2Rg \exp[2f_1 (\alpha - \alpha_0)]}{4f_1^2 + 1} \sqrt{4f_1^4 + 5f_1^2 + 1} \sin \left(\alpha + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1} \right) + \frac{2Rg \sqrt{4f_1^4 + 5f_1^2 + 1}}{4f_1^2 + 1} \sin \left(\alpha_0 + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1} \right) \right] \exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)]$$

$$V_R^2 = \left\{ V^2 - \frac{2Rg \sqrt{4f_1^4 + 5f_1^2 + 1}}{4f_1^2 + 1} \left[\exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)] \sin \left(\alpha + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1} \right) - \sin \left(\alpha_0 + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1} \right) \right] \right\} \exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)]$$

$$V_R = \left\{ V^2 \exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)] - \frac{2Rg \sqrt{4f_1^4 + 5f_1^2 + 1}}{4f_1^2 + 1} \left[\sin \left(\alpha + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1} \right) - \exp[2f_1 (\alpha_0 - \alpha)] \sin \left(\alpha_0 + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1} \right) \right] \right\}^2$$

Обговорення. Визначимо умови, коли швидкість руху ґрунту по поверхні глибокорозпушувача на рівні глибини обробітку дорівнює нулю (Golub & Dvornuk,

2020). Ця умова визначає границю між двома режимами роботи глибокорозпушувача (Nazarenko et al., 2020). Якщо швидкість руху ґрунту по поверхні глибокорозпу-

шувача на рівні глибини обробітку менше нуля (Brown & Richards, 2018), то глибокорозпушувач працює в режимі розпушування (Yousif et al., 2013). Кут між дотичною до напрямної у початку координат та горизонталлю – кут підйому α_0 вибирається так, щоб пластичні деформації не потрапляли у дно борозни і не ущільнювали її. Це досягається дотриманням нерівності $\alpha_0 \leq \frac{45^\circ - \varphi_2}{2}$.

Висновки. Визначено умови руху структурного агрегату ґрунту, що визначає границю між двома режимами роботи глибокорозпушувача. Якщо швидкість руху ґрунту по поверхні глибокорозпушувача на рівні глибини обробітку менше нуля, то глибокорозпушувач працює в режимі розпушування. Кут між дотичною до напрямної у початку координат та горизонталлю – кут підйому α_0 вибирається так, щоб пластичні деформації не потрапляли у дно борозни і не ущільнювали її.

Бібліографічні посилання:

1. Brown, R. & Richards, A. (2018). Engineering principles of agricultural machinery. ASABE, 84(2): 1120–1132.
2. Celik, A. (2013). Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. Soil and Tillage Research, 131: 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.03.004>.
3. Charman, W. C., Moxey, A. P. & Towers, W. (2015). Mitigating arable soil compaction: are view and analysis of available cost and benefit data. Soil and Tillage Research, 146: 10–25.
4. Foley, K. M., Shock, C. C., Norberg, O. S. & Welch, T. K. (2012). Making strip tillage work for you: a grower's guide, Oregon State University, Department of Crop and Soil Science Ext. CrS: 140.
5. Golub, G. & Dvornyk, A. (2020). Research of indicators strip tillage. TEKA. Quarterly journal of agri-food industry, 20(2): 83–90.
6. Hossain, M. S., Gathala, M. K., Tiwari, T. P. & Hossain, M. S. (2014). Strip tillage seeding technique: a better option for utilizing residual soil moisture in rain fed moisture stress environments of North-West Bangladesh. International Journal of Recent Development in Engineering and Technology, 2(4 April): 132–136.
7. Hryniv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
8. Lekavičienė, K., Šarauska, E., Naujokienė, V., Buragienė, S. & Kriauciūnienė, Z. (2019). The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO₂ emissions. Soil and Tillage Research, 192: 95–102.
9. Nazarenko, I., Dedov, O., Beryk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
10. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
11. Pöhlitz, J., Rücknagela, J., Koblenza, B., Schlüter, S., Vogelb, Hans-Jörg & Olaf, C. (2018). Computed tomography and soil physical measurements of compaction behaviour under strip tillage, mulch tillage and no tillage. Soil and Tillage Research, 175: 205–216. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.007>.
12. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
13. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadochiy, O. V. (2021). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
14. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskiy, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. Engineering for Rural Development, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
15. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Haponenko, O. I., Ohienko, M. M. & Kulik, V. P. (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering, 60(1): 45–52. <https://doi.org/10.35633/inmateh-60-05>.
16. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
17. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
18. Vaitauskienė, K., Šarauska, E., Kęstutis, Romanekasb & Jasinskas, A. (2017). Design, development and field evaluation of row-cleaners for strip tillage in conservation farming. Soil and Tillage Research, 174: 139–146.
19. Yinyana, S., Sunb, X., Xiaochanc, W., Zhichaoa, H., Newmanb, D. & Weimin, D. (2019). Numerical simulation and field tests of minimum-tillage planter with straw smashing and strip laying based on EDEM software. Computers and Electronics in Agriculture, 166: 105021.
20. Yousif, A. L., Dahab, H. M. & El-Ramlawi, R. H. (2013). Crop-machinery management system for field operations and farm machinery selection. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development, 5: 84–90.

Dvornyk A. V., Candidate of Technical Sciences, (PhD), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Analytical modeling of movement of structural aggregate of soil through the working surface of chisel

The conditions of movement of the structural aggregate of the soil, which determines the boundary between the two modes of operation of the deep loosener, have been determined. If the speed of soil movement on the surface of the deep loosener at the level of the depth of cultivation is less than zero, then the deep loosener works in the loosening mode. The angle between the tangent to the guide at the origin of the coordinates and the horizontal – the elevation angle α_0 is chosen so that plastic deformations do not enter the bottom of the furrow and do not compact it. At the same time, the mathematical model of soil cultivation is made taking into account the following assumptions: the movement of the working body is translational, when all points of the deep loosener have identical speeds and accelerations; the deep loosener moves with some average steady speed, that is, in the first approximation, uniformly; according to experimental studies, the collision of soil masses with the working surface of the deep loosener during processing is inelastic with a negligibly small coefficient of recovery; the left-hand coordinate system associated with the middle of the working blade of the deep loosener, relative to which the movement of the soil is studied and which progressively and uniformly moves together with the machine-tractor unit during the established process of strip cultivation, is considered an inertial reference system with a high degree of accuracy; forces of interaction of a separate structural aggregate of the soil, the movement of which is being studied, with other structural aggregates of the soil of the soil flow are considered balanced in the first approximation, and therefore are not taken into account. The article substantiates that the movement of the structural aggregate of the soil does not depend on the driving forces of the energy means, but turns into independent movement under the action of the force of gravity, the force of the surface reaction, taking into account the friction force of the structural aggregate of the soil on the metal surface, which interfere with free movement. To determine the value of the speed depending on the angle of installation of the blade to the horizon, the well-known equation of equilibrium of the structural aggregate of the soil on the surface of the deep loosener was used. The author compiled a system of nonlinear differential equations of the second order, which reflects the movement of the structural aggregate of the soil along the parabolic cylindrical surface of the deep loosener. Considering that the normal component of the reaction is perpendicular to the Oy axis, it is concluded that all the applied forces are located in the central plane of symmetry of the deep loosener, and therefore the velocity and acceleration vectors of the structural aggregate of the soil are not projected onto the Oy axis.

Key words: structural aggregate of soil, chisel, work surface, movement on surface.

АЛГОРИТМІЧНІСТЬ СЕЗОННОЇ БЕЗВІДМОВНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Задорожнюк Дмитро Володимирович

аспірант

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

ORCID: 0000-0003-3869-7213

dimitrio380@gmail.com

В статті сформульовані методичні підходи оптимізації щодо підвищення оперативної готовності парку та збільшення сезонного виробітку за рахунок оптимального розподілу робіт між групами зернозбиральних комбайнів.

Авторами розроблена методика оптимізації сезонного навантаження ресурсних груп зернозбиральних комбайнів технологічного комплексу з урахуванням їх технічного стану та умов експлуатації. При цьому процес машиновикористання зернозбирального комбайна розглядається у вигляді особливості експлуатації зернозбиральних комбайнів, як такої, що вони використовуються для обмеженої кількості сільськогосподарських операцій протягом обмеженого агротехнічного терміну. На підставі аналізу зміни вартості підтримки гідросистем комбайна у працездатному стані, автором виділено межі ресурсних груп, основними критеріями яких стали досягнуті показники надійності при наявному напрацюванні гідросистем, обсяг ремонтних впливів планово-попереджувальної системи обслуговування, прогнозоване сезонне напрацювання, а також вартість усунення наслідків відмов гідросистем комбайна. Також важливим фактором при розрахунку складу парку зернозбиральних комбайнів та плануванні його сезонного навантаження обґрунтовано ринкову вартість комбайнів для кожної із ресурсних груп, зниження якої також відбувається нелінійно. Оптимізація напрацювання гідросистем комбайна полягає у визначенні меж ресурсних груп, зниженні напрацювання за межами зниження коефіцієнта оперативної готовності, що призводить до простою комбайнів та втрат у результаті порушення агротехнічних термінів. Так як сезонна експлуатація зернозбиральних комбайнів складається з декількох етапів збирання різних культур або їх сортів, що мають різні терміни дозрівання.

В статті отримано залежність зростання експлуатаційних витрат при усуненні наслідків відмов у міру їх виникнення та за планово-попереджувальної системи технічного контролю і ремонту та визначення меж ресурсних груп залежно від напрацювання. Обґрунтовано алгоритм оптимізації сезонного навантаження парку зернозбиральних комбайнів. Представлено результати порівняння середнього навантаження на один комбайн по країні та напрацювання по обстежуваному парку зернозбиральних комбайнів.

Отримані результати, як перспектива подальших досліджень, можуть бути використані аграрними господарствами при комплектуванні комбайнового машинного парку як вітчизняними так і імпорними моделями зернозбиральних комбайнів.

Ключові слова: алгоритм, зернозбиральний комбайн, безвідмовність, втрати урожаю, критерій.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.5>

Постановка проблеми. Стан парку зернозбиральних комбайнів та їхня неефективна експлуатація стали однією з основних причин зниження валового збору врожаю (Rejovitzky & Altus, 2013) та рентабельності виробництва зернових культур (Nazarenko et al., 2020). Більше половини товаровиробників використовують у своїй діяльності спрощені технології та зношену техніку (Tyutrin, 2019). В умовах зниження чисельного складу (Li et al., 2017) та морального зносу парку зернозбиральних комбайнів у сільському господарстві особливо актуальним стає завдання підвищення ефективності їх використання (Нукуфорчун et al., 2019). Особливої актуальності це завдання набуває для машиновикористання та спеціалізованих збирально-транспортних комплексів (Miu, 2016), які надають послуги зі збирання зерна на площах із досить великими площами переїздів (Caffaro et al., 2020). У зв'язку з тим, що зернозбиральні комбайни використовуються протягом в обмежений період сезону експлуатації з високою інтенсивністю (Guansah & Ansa, 2020), необхідно знайти нові методи підвищення ефективності їх експлуатації (Kuzmich et al., 2021).

У цих умовах зростають вимоги до зернозбиральної техніки щодо підвищення оперативної готовності парку

(Mozharivskiy et al., 2022) та збільшення сезонного виробітку за рахунок оптимального розподілу робіт між групами комбайнів (Najafi et al., 2015). Вирішення даної задачі дозволить знизити експлуатаційні витрати при виконанні збиральних робіт і зменшити простої високопродуктивних машин (Huang, 2015), пов'язаних із усуненням відмов і призводять до затягування агротехнічних термінів, що дозволить знизити втрати врожаю (Yezeqyan et al., 2020).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом останніх двох десятиліть спостерігається постійне зниження кількісного складу парку зернозбиральних комбайнів (Rogovskii et al., 2019). Незважаючи на одночасне зниження посівних площ, зменшення парку йде інтенсивніше (Kavka et al., 2016), що призводить до підвищення навантаження на одиницю техніки (Romaniuk et al., 2018). В умовах, що склалися, особливо актуальною стає проблема ефективного використання існуючого парку зернозбиральних комбайнів (Xu et al., 2019).

Аналіз розподілу витрат на утримання та експлуатацію сучасних зернозбиральних комбайнів показує, що, незважаючи на підвищення продуктивності та енергонасиченості, спостерігається збільшення питомих витрат

на збирання сільськогосподарської продукції, зумовлене підвищеними амортизаційними відрахуваннями через високу початкову вартість машин, особливо імпортного виробництва. Крім цього при виконанні збиральних робіт в умовах великих агрофірм значні холості переїзди машин по дільницях (Matindi et al., 2018), на який збирають урожай (Hrynkiv et al., 2020), що істотно збільшує знос систем трансмісії (Voinalovych et al., 2019). Необхідність збільшення сезонного напрацювання комбайнів призводить до зниження показників надійності (Kurpris et al., 2016), що збільшує простої на усунення наслідків відмов та призводить до збільшення біологічних втрат урожаю, спричинених порушенням агротехнічних термінів (Pöhlitz et al., 2018).

Розглянуті аспекти дозволяють стверджувати (Gurcanli et al., 2015), що одним із шляхів підвищення ефективності експлуатації парку зернозбиральних комбайнів може стати зміна підходу до передсезонної підготовки машин для забезпечення безвідмовної роботи (Aven, 2016), комплектування парку зернозбиральних комбайнів на основі виділених ресурсних груп (Rogovskii, 2019), планування та розподіл їх сезонного навантаження між ресурсними групами (Nazarenko et al., 2021).

Мета досліджень полягає в обґрунтуванні методів підвищення технічної готовності парку гідросистем зернозбиральних комбайнів технологічного комплексу та оптимізації його використання з урахуванням технічного стану та сезонного навантаження.

Результати досліджень. При експлуатації зернозбиральних комбайнів найбільший інтерес становлять показники безвідмовності та комплексні показники надійності їх гідросистем. Існуючі методики визначення потреби господарства в зернозбиральній техніці не враховують диференціацію машин з технічного стану і є лише визначення усередненої кількісної потреби у техніці до виконання запланованих робіт. Розподіл машин по ресурсним групам дозволить планувати використання

комбайнів з різною інтенсивністю навантаження технологічних систем та трансмісії комбайна та знижувати їх сезонне напрацювання у міру збільшення потоку відмов та витрат на технічний контроль і ремонт.

Особливість експлуатації зернозбиральних комбайнів полягає в тому, що вони використовуються для обмеженої кількості сільськогосподарських операцій протягом обмеженого агротехнічного терміну. Відповідно, втрати внаслідок відмов під час збирального періоду включають не тільки витрати на ремонт гідросистем комбайнів, а й втрати врожаю через порушення агротехнічних термінів внаслідок простою. З урахуванням цього для підвищення часу безвідмовної роботи гідросистем комбайнів при підготовці до сезону необхідно включати не тільки планові операції технічного контролю та ремонту, а й дефектування та заміну складальних одиниць та агрегатів, які не виробили свій ресурс, але можуть вийти з ладу протягом планованого сезонного напрацювання. Вартість усунення наслідків відмов гідросистем, проведення технічного контролю і ремонту схематично представлені рисунку 1: T_1, T_2, \dots, T_5 – напрацювання і $T_{1\text{опт}}, T_{2\text{опт}}, \dots, T_{5\text{опт}}$ – оптимальне напрацювання у ресурсних групах 1, 2...5 з коефіцієнтом оперативної готовності, близьким до одиниці; $C_{i+1} - C_i$ – вартість усунення наслідків відмов гідросистем комбайнів; $C'_i - C_{i-1}$ – вартість ремонтних дій планово-попереджувальної системи та технічного обслуговування гідросистем комбайнів.

На підставі аналізу зміни вартості підтримки гідросистем комбайна у працездатному стані, можна виділити межі ресурсних груп, основними критеріями яких будуть досягнуті показники надійності при наявному напрацюванні гідросистем, обсяг ремонтних впливів планово-попереджувальної системи обслуговування, прогнозоване сезонне напрацювання, а також вартість усунення наслідків відмов гідросистем комбайна. Також важливим фактором при розрахунку складу парку зернозбиральних комбайнів та плануванні його сезонного

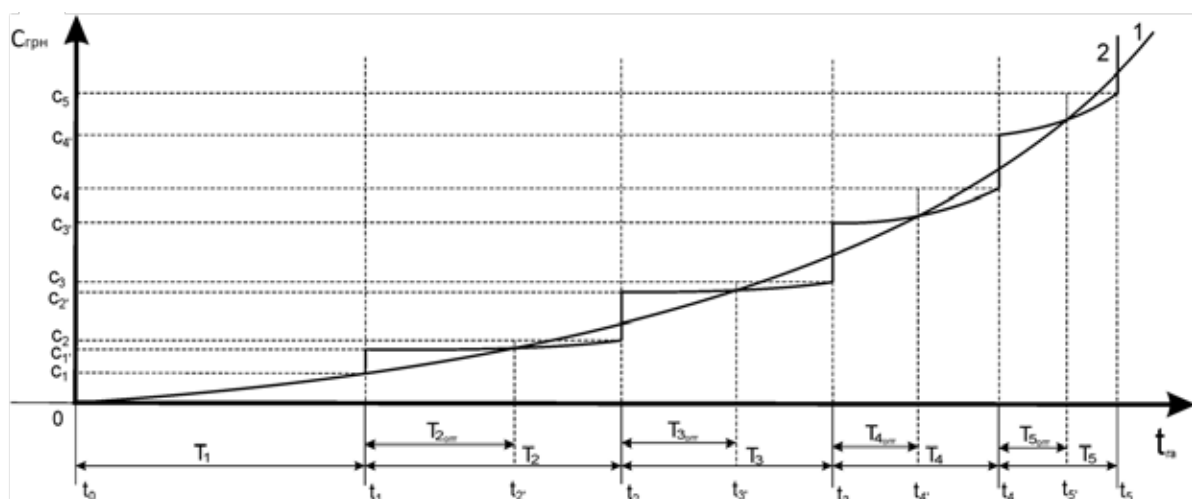


Рис. 1. Залежність зростання експлуатаційних витрат при усуненні наслідків відмов гідросистем комбайнів у міру їх виникнення (1) та за системи технічного контролю і ремонту (2) та визначення меж ресурсних груп залежно від напрацювання

навантаження буде ринкова вартість комбайнів для кожної із ресурсних груп, зниження якої також відбувається нелінійно.

Оптимізація напрацювання гідросистем комбайна полягає у визначенні меж ресурсних груп, зниженні напрацювання за межами зниження коефіцієнта оперативної готовності, що призводить до простою комбайнів та втрат у результаті порушення агротехнічних термінів. Так як сезонна експлуатація зернозбиральних комбайнів складається з декількох етапів збирання різних культур або їх сортів, що мають різні терміни дозрівання, математично дана модель виражається:

$$C = \sum C_i \rightarrow \max \quad (1)$$

де C і C_i – прибуток, одержуваний підприємством за сезон та на i -му етапі збирання.

Прибуток, одержуваний кожному з етапів, має такий вираз:

$$C_i = C_{\text{дох}_i} - (C_{\text{роб}_i} + C_{\text{зч}_i} + C_{\text{ф}_i}) \rightarrow \max \quad (2)$$

де $C_{\text{дох}_i}$, $C_{\text{роб}_i}$, $C_{\text{зч}_i}$ і $C_{\text{ф}_i}$ – дохід, який отримується від виконання робіт, вартість витрат на усунення наслідків відмови, витрати на запасні частини та вартісні втрати врожаю від порушення агротехнічних термінів, грн.

Кількість комбайнів, необхідних на етапі f , розраховується за формулою з урахуванням встановленого коефіцієнта готовності для кожної з ресурсних груп за формулою:

$$n_f = \sum_{i=1}^n \frac{S_f}{W_f \times K_{\text{зм}} \times T_{\text{зм}} \times n_{\text{днф}} \times K_f} \quad (3)$$

де S_f – площа, що забирається на одному етапі, га; W_f – продуктивність, при збиранні цієї культури, га/год; $K_{\text{зм}}$ – коефіцієнт змінності; $T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, годин; $n_{\text{днф}}$ – оптимальні агротехнічні терміни збирання цієї культури.

Коефіцієнт забезпеченості $K_{\text{зб}}$ сільськогосподарських підприємств зернозбиральними комбайнами є відношення необхідної кількості техніки (в еталонних або фізичних одиницях) до наявної кількості (в еталонних або фізичних одиницях):

$$K_{\text{зб}} = \frac{n_{\text{т}}}{n_{\text{н}}} \quad (4)$$

де $n_{\text{т}}$, $n_{\text{н}}$ – необхідна кількість техніки і кількість техніки, що є в наявності, шт.

Залежно від коефіцієнта забезпеченості підприємство може мати оптимальний $K_{\text{зб}} = 1$, надлишковий $K_{\text{зб}} > 1$ або недостатній $K_{\text{зб}} < 1$ склад парку зернозбиральних комбайнів. Значення даного коефіцієнта є основою вибору методу оптимізації сезонного навантаження для ресурсної групи комбайнів. Для розподілу оптимального складу парку в межах власного господарства, коли основною метою є дотримання агротехнічних термінів на всіх збиральних площах, застосовується лінійне програмування. Оптимізація проводиться з найменшими вар-

тісними показниками, розподіл навантаження враховує величину збиральних площ, їх віддаленість та коефіцієнт готовності машин у ресурсних груп.

У разі перевищення коефіцієнта забезпеченості існує можливість вибору – оптимізація розподілу навантаження здійснюється за допомогою лінійного програмування, але створюється можливість значного недовикористання ресурсу, або склад парку оптимізується і з нього виділяється ненавантажений резерв, розподіл напрацювання якого відбувається за допомогою методу динамічного програмування.

Метод динамічного програмування застосовується у тому разі, коли коефіцієнт забезпеченості недостатній. При розрахунку оптимального розподілу формулу визначення ваги грані включається оцінка можливих втрат від порушення агротехнічних термінів.

У загальному вигляді алгоритм вибору математичної моделі оптимізації парку зернозбиральних комбайнів та розподілу сезонного навантаження подано на рисунку 2.

Якщо кількість зернозбиральних комбайнів з урахуванням їхнього марочного складу та технічного стану відповідає потребі підприємства, то для вирішення задачі розподілу навантаження з найменшими вартісними показниками використовують симплекс-метод для лінійних функцій із системою обмежень (5). Для завдання із правильним балансом $\sum a_i = \sum b_j$ математична постановка завдання полягає у визначенні мінімального значення функції витрат на доставку комбайна до збиральних площ:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{ij} \rightarrow \min \quad (5)$$

при обмеженнях: $\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j$; $\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i$; $x_{ij} \geq 0$,
($i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$)

де a_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – прогнозоване напрацювання одного комбайна, що знаходиться на i -у пункті відправлення; b_j ($j = 1, 2, \dots, n$) – збиральна площа на j -му пункті призначення; c_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$) – вартість доставки комбайна i -го пункту відправлення до j -ого пункту призначення; x_{ij} – кількість комбайнів, що перевозяться з i -го пункту відправлення в j -й пункт призначення.

Якщо коефіцієнт забезпеченості більше одиниці (див. рис. 2), то зі складу парку можна виділити ненавантажений резерв і використовувати його поза господарства. При використанні ненавантаженого резерву оптимізація всього парку поводитьсь за допомогою математичної моделі лінійного програмування.

Для оптимізації напрацювання ненавантаженого резерву, що виділяється, а також у разі, коли ресурс комбайна недостатній для виконання робіт на всіх етапах, необхідно визначити, на яких полях робота буде найбільш вигідна. Це можна визначити шляхом застосування методу динамічного програмування, в основі якого лежить принцип оптимальності Беллмана.

Так як поля мають різні розміри і різну віддаленість, то вага ребра при побудові прямої рекурентної прогонки

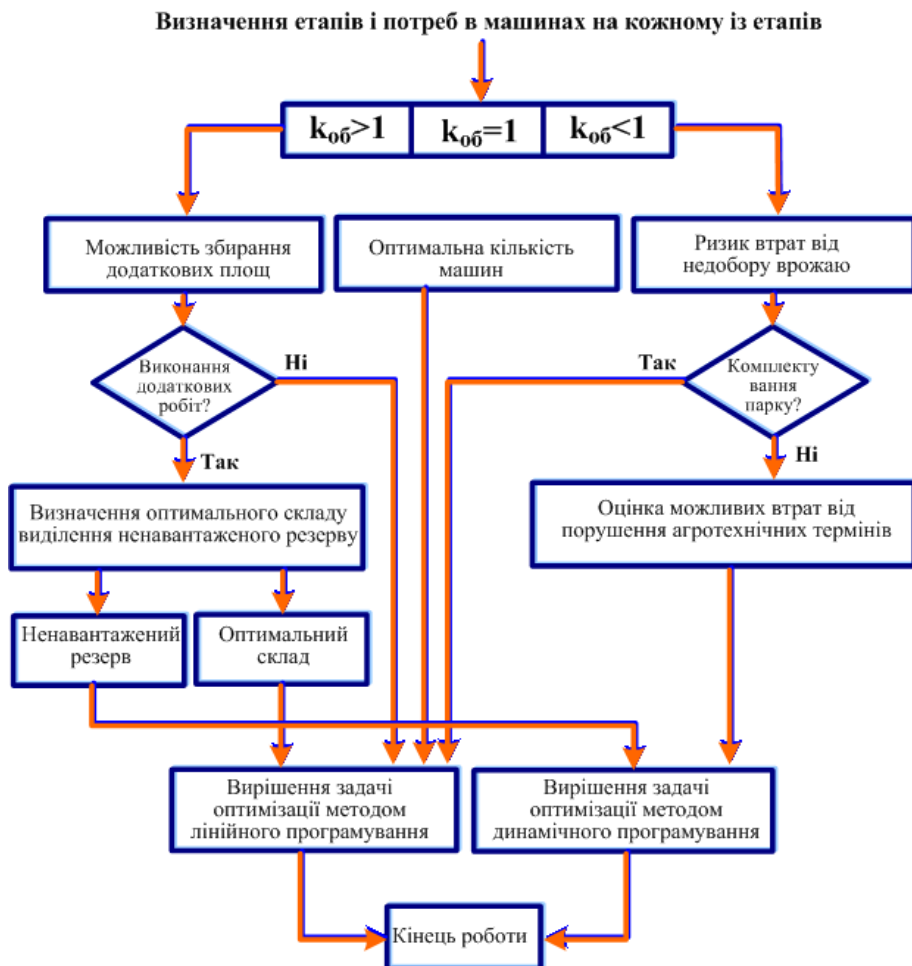


Рис. 2. Алгоритм оптимізації сезонного навантаження парку зернозбиральних комбайнів

визначається доходом, який отримує господарство від виконання даним комбайном певної роботи та витратами на транспортування комбайна до місця роботи, а також вартісними втратами від простою під час усунення наслідків, можливих відмов та порушенням агротехнічних термінів внаслідок цього.

Рекурентні обчислення динамічного програмування можна виразити математично в такий спосіб. Найменший дохід $f_i(x_i)$, що отримується при збиранні врожаю до вершини (x_i) на етапі i :

$$f_i(x_i) = \max \{d(x_{i-1}, x_i) + f_{i-1}(x_{i-1})\}, i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

де (x_{i-1}, x_i) – всі доступні маршрути.

$$d(x_{i-1}, x_i) = C_{S_{ij}} - C_{I_{(x_{i-1}, x_i)}} \quad (7)$$

де $C_{S_{ij}}$ – дохід від прибирання площі S_{ij} на етапі j поля.

При цьому на оптимізацію цього виразу накладається обмеження $S_{ij} \leq S_{max}$ так як максимальна площа, що забирається комбайном протягом одного етапу дорівнює $S_{max_i} = W_r \times K_r \times T \times K_{zm} \times D_{opt}$, то $S_{i+1, j} = S_{max} - S_{ij}$. При цьому S_{max_i} виходячи з умови завдання задається у вигляді максимального прогнозованого напрацювання для даної ресурсної групи. $C_{I_{(x_{i-1}, x_i)}}$ вартість транспор-

тування одного комбайна від вузла x_{i-1} до вузла x_i , переважно залежить від віддаленості філій на $i-1$ і i етапах.

Враховуючи вартість комбайнів у ресурсних груп $(C_{A_i} = C_{P_{A_i}} + C_{CP_{A_i}})$ та вартість технічного обслуговування та ремонту в період їх експлуатації, визначимо оптимальний ефект від використання комбайна цієї ресурсної групи для збирання представлених полів:

$$C_{\text{еф.}} = f_i(x_i) - (C_{A_i} + C_{ТОiP_{A_i}} + C_{\text{експл}}) \quad (8)$$

де – вартість комбайна на початку експлуатації в ресурсних групах A_i ; $C_{P_{A_i}}$ – ринкова вартість комбайна в ресурсних групах A_i ; $C_{CP_{A_i}}$ – вартість ремонту при підготовці до сезону в ресурсних групах A_i ; $C_{ТОiP_{A_i}}$ – вартість технічного обслуговування та середні витрати на усунення наслідків відмов у період збирання в ресурсних групах A_i ; $C_{\text{експл}}$ – питомі витрати на експлуатацію комбайна при збиранні цієї культури.

Графічне представлення алгоритму розподілу сезонного навантаження із застосуванням засобів динамічного програмування представлено рисунку 3.

Програма роботи передбачає збирання та обробку інформації про напрацювання комбайнів, зміну показників надійності протягом експлуатації, проведення техніч-

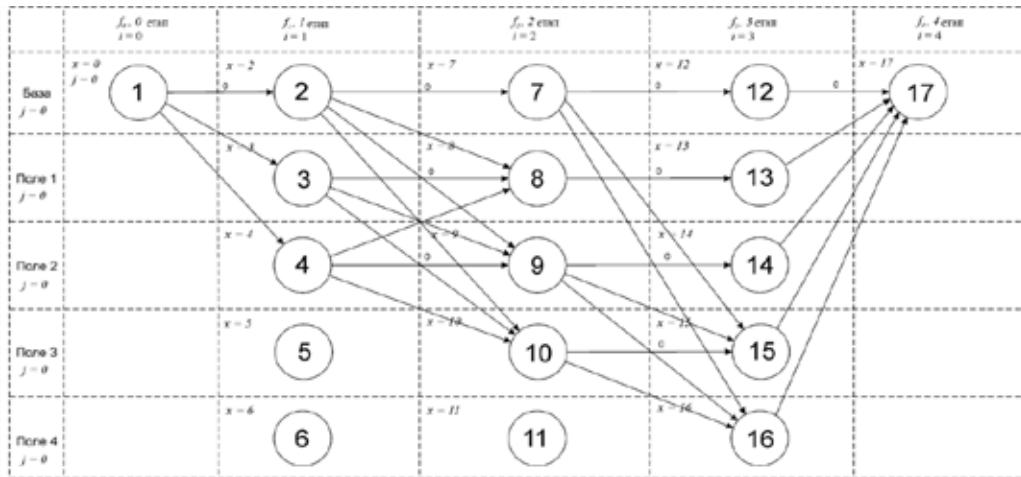


Рис. 3. Приклад побудови прямої рекурентної прогонки динамічного програмування

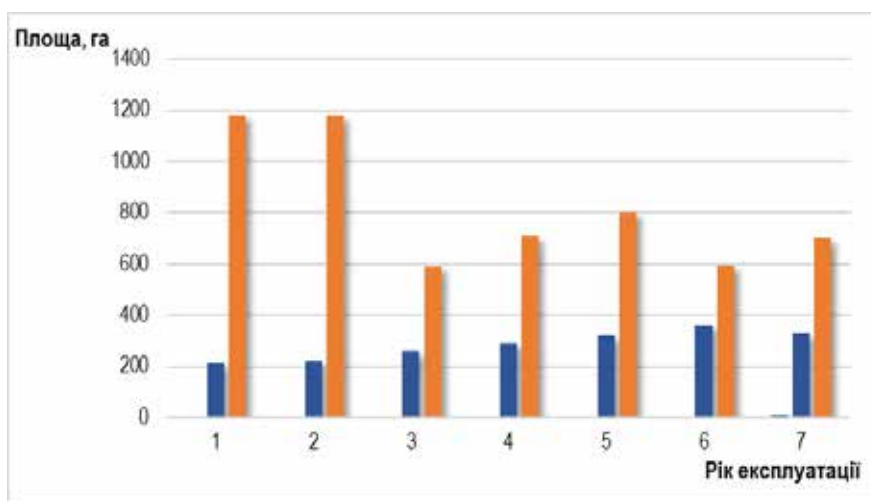


Рис. 4. Порівняння середнього навантаження на один комбайн по країні та напрацювання по обстежуваному парку комбайнів

ного обслуговування та ремонтів при підготовці техніки до сезону.

Експлуатаційні випробування проводилися відповідно за планом NMT, згідно з яким під наглядом знаходилося $N=39$ комбайнів, об'єкти, що відмовилися, піддавалися відновленню, і спостереження за ними тривали до виконання заданого обсягу робіт – сезонного напрацювання T у конкретному господарстві. Під нагляд брали комбайни однієї марки, які виконували роботи в одному господарстві в одній кліматичній зоні.

На підставі отриманих статистичних даних про збільшення трудомісткості та вартості усунення наслідків відмов та операцій ТОР було визначено межі міжремонтного напрацювання та виділено межі ресурсних груп. У межах ресурсних груп визначали показники надійності – середнє напрацювання на відмову, середній час відновлення, ймовірність безвідмовної роботи, коефіцієнт готовності за загальним часом, коефіцієнт готовності за оперативним часом та коефіцієнт оперативної готовності. Трудомісткість усунення наслідків відмов, заміну запасних частин та проведення операцій технічного

обслуговування розраховувалося відповідно до «Вказівок щодо нормування робочого часу та кодів помилок комбайнів New Holland серії CL/CS/CXS». Ризик втрат від недобору врожаю оцінювали відповідно до методичних вказівок щодо визначення втрат від простоїв машин з технічних причин.

Для оцінки ефективності застосування математичних моделей оптимізації пропонується використовувати коефіцієнт ефективної роботи (K_{EP}) як відношення річного напрацювання технологічних робочих органів комбайна у годинах до річного напрацювання гідросистеми:

$$K_{EP} = \frac{MГ_{ТРО}}{MГ_{Дв}} \quad (9)$$

де K_{EP} – коефіцієнт ефективної роботи; $MГ_{ТРО}$ – напрацювання технологічних робочих органів у мотогодинах; $MГ_{Дв}$ – напрацювання гідросистеми в мотогодин.

Для вибору об'єкта дослідження було проведено аналіз марочного парку зернозбиральних комбайнів Вінницької області. Комбайн NH CX-840 є одним з най-

поширеніших марок зернозбиральних комбайнів. Більшість комбайнів NH SX-840 експлуатуються в основному в агрофірмі, що призводить до сезонного напрацювання, що набагато перевищує середнє по країні за умови досить високого рівня технічного сервісу.

Експлуатаційні дослідження проводилися в умовах експлуатації зернозбиральних комбайнів. Збирання зернових проводилося у 8 філіях господарств розмірами 702...892 га та віддаленістю 5...95 км. Розподіл культур, що убираються, по частках становив: озима пшениця – 72%, ячмінь – 22%, зерносуміш – 0,5%, овес – 1%, тритикале – 4%, ріпак – 0,5%.

Аналіз напрацювання комбайнів на початок впровадження результатів дослідження представлений на рисунку 5. З малюнка видно що, незважаючи на одночасне введення в експлуатацію та роботу в ідентичних умовах в одному підприємстві, різниця у напрацюванні гідросистем відрізняється в 1,82 рази, а технологічних робочих органів – 2,36 рази.

З рисунків 6 і 7 видно, що різниця у напрацюванні технологічних робочих органів і гідросистем становить від 752 до 1166 мотогодин, а коефіцієнт ефективної роботи варіюється від 0,56 до 0,73. Перші два роки є типовими для рядової експлуатації в умовах Вінницької області. Велика різниця у напрацюванні гідросистем і технологічних робочих органів в цей період пояснюються виконанням робіт у центральних областях України, куди

машини прямували своїм ходом. Менша напрацювання у рік пояснюється лише тим, що з купівлі техніка було поставлено заводом-виробником немає до місця постійного базування, а до місця виконання додаткових робіт.

В результаті підконтрольної експлуатації було зібрано фактичний матеріал, що характеризує динаміку зміни трудомісткості усунення наслідків відмов, технічного контролю і ремонту та вартості запасних частин і збільшення вартості підтримки зернозбирального комбайна у справному стані.

Отримані відомості було узагальнено у підсумковому графіку збільшення вартості підтримки комбайнів у справному стані.

На основі аналізу даних, наведених на рисунку 8, після першого етапу досліджень було встановлено параметри ресурсних груп, що наводяться у таблиці 1, а саме прогнозоване сезонне напрацювання, коефіцієнт готовності за оперативним часом, коефіцієнт готовності за основним часом, вартості підготовки до сезону та усунення наслідків відмов.

Обговорення. На етапі застосування оптимізація експлуатації проводилася відповідно до розробленого алгоритму (Rogovskii, 2019). Додаткові роботи не виконувались, заплановане напрацювання не перевищувало прогнозованого (Rogovskii et al., 2021). Оптимізація проводилася на етапі збирання ярих культур за допомогою динамічного програмування (Achkoski et al., 2017).



Рис. 5. Напрацювання гідросистем та технологічних робочих органів з обстежуваних одиниць зернозбиральних комбайнів

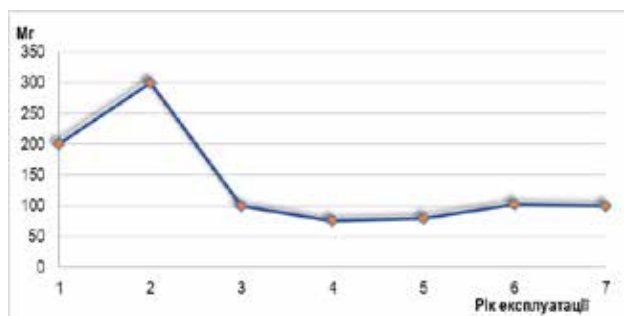


Рис. 6. Різниця у напрацюванні гідросистем та жнивarki за роками дослідження

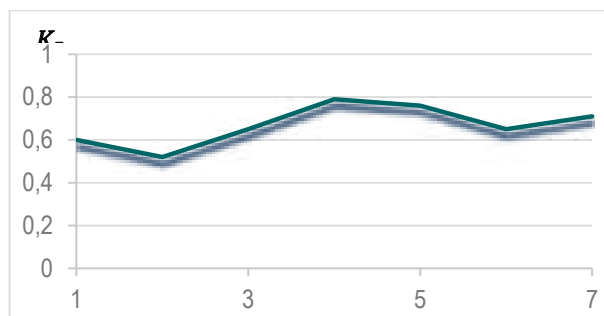


Рис. 7. Коефіцієнт ефективної роботи з років дослідження

Параметри ресурсних груп

| Ресурсна група | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|
| Прогнозоване сезонне напрацювання, га | 2500 | 1200 | 800 | 600 | 500 |
| Коефіцієнт готовності за оперативним часом | 0,99 | 0,97 | 0,95 | 0,95 | 0,93 |
| Коефіцієнт готовності за основним часом | 0,99 | 0,98 | 0,92 | 0,88 | 0,83 |
| Ринкова вартість, % від початкової вартості | 100 | 78,26 | 70,65 | 54,13 | 43,48 |
| Вартість підготовки до сезону, у % від початкової вартості (наростаючим підсумком) | 0 | 2,25 | 6,29 | 8,47 | 11,06 |
| Вартість усунення наслідків відмов, % від початкової вартості (наростаючим результатом) | 4,76 | 7,92 | 8,74 | 10,39 | 11,55 |

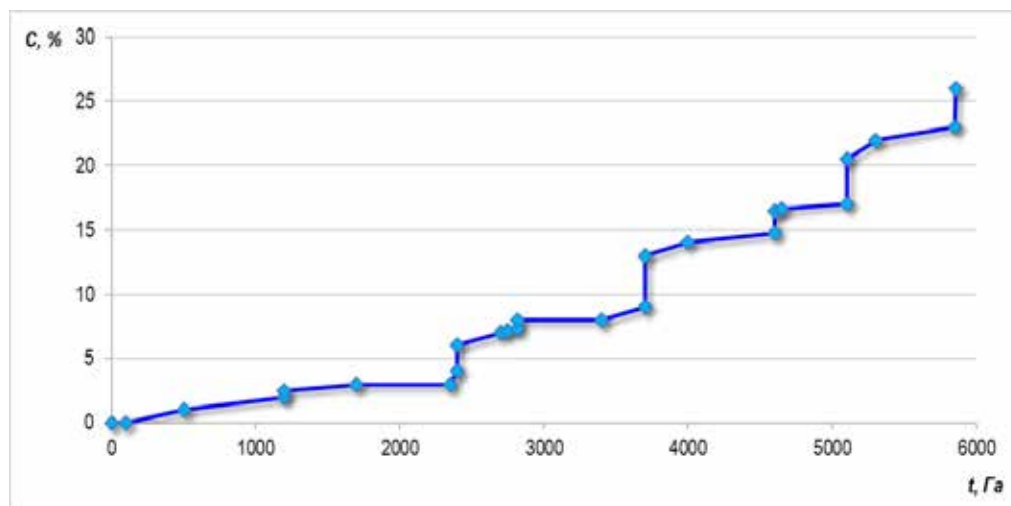


Рис. 8. Підсумковий графік збільшення вартості підтримки комбайнів у справному стані у відсотках від початкової вартості комбайна залежно від напрацювання у зібраних обсягах за період спостереження

На підставі статистичних даних про зміну вартості зернозбирального комбайна марки New Holland CX-840 та збільшення вартості підтримки його у працездатному стані було проведено оцінку максимально доцільного напрацювання (Zubko et al., 2022). У контрольній групі витрата палива на прибирання одного гектара становила 13,15 літра при коефіцієнті ефективної роботи 0,75, а експериментальній групі – 12,95 літра при коефіцієнті ефективної роботи 0,81.

Висновки. Аналіз показників надійності технологічного комплексу зернозбиральних комбайнів виявив, що із зміною технічного стану та збереженням виробничих умов відбувається зростання кількості відмов, вартість усунення наслідків відмов збільшується в середньому на 1,5-2% від первісної вартості комбайна на рік. Встановлено, що при збереженні виробничих умов та сумарному напрацюванні 350 га відбувається різке зниження коефіцієнта готовності за основним часом з 0,98 до 0,92, подальше зниження становить 4...5% на рік. На підставі аналізу 7 років експлуатації розроблено методику розподілу зернозбиральних комбайнів

на 5 ресурсних груп щодо відносної зміни мінімуму експлуатаційних витрат на передсезонну підготовку. Планово-попереджувальне обслуговування для виділених груп зернозбиральних комбайнів та оптимальне розподілення сезонного навантаження з урахуванням коефіцієнта ефективної роботи дозволяє підтримувати коефіцієнт готовності рівним 0,98 протягом усього терміну експлуатації. Оптимізація розподілу сезонного навантаження технологічного комплексу зернозбиральних комбайнів для коефіцієнта забезпеченості технікою ≥ 1 дозволяє знизити експлуатаційні витрати за рахунок скорочення плечей переїздів, при коефіцієнті забезпеченості технікою > 1 дає можливість виділити ненавантажений резерв техніки та збільшити його навантаження за критерієм максимуму доходу від виконання робіт мінімізувати біологічні втрати культури, що забирається, при коефіцієнті забезпеченості < 1 . Перевірка імітаційної моделі роботи технологічного комплексу зернозбиральних комбайнів, спрямована на зниження експлуатаційних витрат, показала можливість сходження результатів у 4,3%.

Бібліографічні посилання:

1. Achkoski, J., Koceski, S., Bogatinov, D., Temelkovski, B., Stevanovski, G. & Kocev I. (2017). Remote triage support algorithm based on fuzzy logic. Journal of the Royal Army Medical Corps, 163(3): 164–170. <https://doi.org/10.1136/jramc-2015-000616>.
2. Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. European Journal of Operational Research, 253(1): 1–13.

3. Caffaro, F., Cremasco, M., Roccato, M. & Cavallo E. (2020). Drivers of farmers' intention to adopt technological innovations in Italy: The role of information sources, perceived usefulness, and perceived ease of use. *Journal of Rural Studies*, 76: 264–271.
4. Gurcanli, E., Bilir, S., & Sevim, M. (2015). Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. *Safety Science*, 80: 1–12.
5. Gyansah, L. & Ansah, A. (2020). Fatigue crack initiation analysis in 1060 steel. *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology*, 4(2): 319–325.
6. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
7. Huang, N. (2015). On Holo-Hilbert spectral analysis: a full informational spectral representation for nonlinear and non-stationary data. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physica*, 6: 13–26. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0206>.
8. Kavka, M., Mimra, M. & Kumhála, F. (2016). Sensitivity analysis of key operating parameters of combine harvesters. *Research in Agricultural Engineering*, 62(3): 113–121.
9. Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L., & Nadtochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 052002. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.
10. Kypris, O., Nlebedim, I., & Jiles, D. (2016). Measuring stress variation with depth using Barkhausen signal. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials – Science Direct*, 407: 377–395.
11. Li, K., Qi, X., Wei, B., Huang, H., Wang, J. & Zhang, J. (2017). Prediction of transformer top oil temperature based on kernel extreme learning machine error prediction and correction. *High Voltage Engineering*, 43(12): 4045–4053. <https://doi.org/10.13336/j.1003-6520.hve.20171127032>.
12. Matindi, R., Masoud, M., Hobson, P., Kent, G. & Liu, S. (2018). Harvesting and transport operations to optimise biomass supply chain and industrial biorefinery processes. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(3): 265–288.
13. Miu, V. (2016). Combine harvesters: theory, modeling and design. *CRC*, 6: 208–242.
14. Mozharivskiy, D. M., Titova, L. L., Nadtochiy, O. V. & Dasic, P. (2022). Aspects of expert system of engineering management of technical condition of grain harvesters. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, 13(1): 60–66. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2022.01.060>.
15. Najafi, P., Asoodar, M., Marzban, A., & Hormozi, M. (2015). Reliability analysis of agricultural machinery: a case study of sugarcane chopper harvester. *AgricEngInt: CIGR Journal*, March 17(1): 158–165.
16. Nazarenko, I., Dedov, O., Bernyk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
17. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
18. Nykyforchyn, H., Lunarska, E., & Tsyrlunyk, O. (2019). Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline. *Engineering Failure Analysis*, 17: 624–632.
19. Pöhlitz, J., Rücknagel, J., Koblenza, B., Schlüter, S., Vogelb, Hans-Jörg & Olaf, C. (2018). Computed tomography and soil physical measurements of compaction behaviour under strip tillage, mulch tillage and no tillage. *Soil and Tillage Research*, 175: 205–216. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.007>.
20. Rejovitzky, E. & Altus, E. (2013). On single damage variable models for fatigue. *International Journal of Damage Mechanics*, 22(2): 268–284.
21. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
22. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
23. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadtochiy, O. V. (2021). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
24. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
25. Tyutrin, S. (2019). Improving reliability of parts of mounted mower according to monitoring results by fatigue gauges from tin foil. *Engineering for Rural Development*, 18: 22–27.
26. Voinalovych, O., Hnatiuk, O., Rogovskii, I., & Pokutnii, O. (2019). Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for rural development*, 18: 563–569.

27. Xu, L., Wei, C., Liang, Z., Chai, X. & Li, Y. (2019). Development of rapeseed cleaning loss monitoring system and experiments in a combine harvester. *Biosystems Engineering*, 178: 118–130.

28. Yezekyan, T., Marinello, F., Armentano, G., Trestini, S. & Sartori, L. (2020). Modelling of harvesting machines' technical parameters and prices. *Agriculture*, 10(6): 194–204.

29. Zubko, V., Sirenko, V., Kuzina, T., Koszel, M., & Shchur, T. (2022). Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. *Agricultural Engineering* this link is disabled, 26(1): 25–37. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2022-0003>.

Zadorozhniuk D. V., Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Algorithmics of seasonal failure of hydrosystems of grain harvesting combines

The article formulates methodical optimization approaches to increase the operational readiness of the park and increase seasonal production due to the optimal distribution of work between groups of grain harvesters.

The authors developed a method of optimizing the seasonal load of resource groups of grain harvesters of the technological complex, taking into account their technical condition and operating conditions. At the same time, the process of machine use of a combine harvester is considered as a feature of the operation of combine harvesters, as such that they are used for a limited number of agricultural operations during a limited agrotechnical term. Based on the analysis of changes in the cost of maintaining the hydraulic systems of the harvester in working condition, the author identified the limits of resource groups, the main criteria of which were the achieved reliability indicators with the available working time of the hydraulic systems, the amount of repair effects of the scheduled and warning maintenance system, the projected seasonal working time, and the cost elimination of the consequences of hydraulic system failures of the harvester. Also, an important factor when calculating the composition of the fleet of grain-harvesting combines and planning its seasonal load is the justified market value of combines for each of the resource groups, the decrease of which also occurs non-linearly. Optimizing the performance of hydraulic systems of the harvester consists in determining the limits of resource groups, reducing the performance beyond the reduction of the coefficient of operational readiness, which leads to the downtime of combines and losses as a result of violation of agrotechnical deadlines. Since the seasonal operation of grain harvesters consists of several stages of harvesting different crops or their varieties, which have different ripening periods.

In the article, the dependence of the growth of operating costs in the elimination of the consequences of failures as they occur and in the case of a planned and warning system of technical control and repair and the determination of the limits of resource groups depending on the performance is obtained. The algorithm for optimizing the seasonal load of the fleet of grain harvesters is substantiated. The results of a comparison of the average load per combine harvester across the country and the performance of the inspected fleet of grain harvesters are presented.

The obtained results, as a perspective for further research, can be used by agricultural farms when equipping the harvester fleet with both domestic and imported models of grain harvesters.

Key words: algorithm, grain harvester, reliability, crop loss, criterion.

ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ БІСКВІТНИХ ВИРОБІВ У ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

Кошель Олена Юріївна

доктор філософії, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-2184-2106
koshelolena85@ukr.net

Мазуренко Ігор Костянтинович

доктор технічних наук, професор
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-2233-7563
0487222489@ukr.net

Сабадаш Сергій Михайлович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-0371-8208
s.v.sabadash@ukr.net

У статті відображено теоретичне та експериментальне обґрунтування використання сировинних збагаченої білком в технології бісквітного напівфабрикату. Бісквітні напівфабрикати вважають продуктами, які в своєму харчовому складі містять незначну кількість білки та велику кількість вуглеводів. Проаналізувавши огляд літературних джерел визначили, що серед різномайття сировини, яку додають у технологію бісквітного напівфабрикату актуальним було б використати сировину, яка має значну кількість легкозасвоюваних білків та є у вільному доступі для закладів ресторанного господарства.

В якості інноваційної сировини використали порошок спіруліни. В рецептуру бісквітного напівфабрикату круглого додавали порошок спіруліни у концентраціях 5,0...15,0%. Для визначення точної концентрації кількості порошку, першочергово, провели дослідження основних структурно-механічних та органолептичних властивостей бісквітного напівфабрикату. Для визначення структурно-механічних властивостей готового виробу перевірили в'язкість тіста з додаванням інноваційної сировини, тобто порошку спіруліни. Важливо, що в'язкість тіста впливає на піноутворюючу здатність тіста, і є одним з головних показників для бісквітів. Враховуючи, що вводиться нова сировина перевірка показнику в'язкості є необхідною. Для визначення органолептичних показників використали методом сенсорної оцінки випеченого напівфабрикату. За результатами дослідження структурно-механічних властивостей та органолептичних показників виробів інноваційний бісквітний напівфабрикат з додаванням порошку спіруліни у кількості 10,0% мав найкращі показники у порівнянні з іншими зразками. Про те у всіх зразках за органолептичними показниками відчувався морський запах, що не є досить раціональним у технології бісквітного напівфабрикату.

Тому, в подальшому, для визначення точної концентрації порошку спіруліни важливо провести загальну оцінку якості бісквітного напівфабрикату серед споживачів закладу ресторанного господарства.

Ключові слова: борошняні кондитерські вироби, бісквітний напівфабрикат, збивний борошняний напівфабрикат, бісквіт круглий, спіруліна, технологія, в'язкість, сировина збагачена білком.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.6>

Вступ. Тенденція до здорового харчування є досить актуальним серед населення в Україні та поза її межами. Майже кожен споживач в усьому світі споживає борошняні кондитерські вироби. Споживачі обирають для себе кондитерські вироби, які позитивно впливають на їх фізіологічні потреби та не шкодять їх організму. Однією з великих груп кондитерських виробів, яка користуються популярністю серед споживачів і є незамінними в українських та світових видах кухні – це борошняні кондитерські вироби. До даної групи можна віднести велику кількість виробів, які мають різну рецептуру та технологію приготування. Найпопулярнішим із борошняних кондитерських виробів вважаються вироби на основі бісквітного напівфабрикату.

На основі бісквітного напівфабрикату виготовляються торти, тістечка ролети. Даний напівфабрикат застосовують при виготовленні продуктів масового споживання як на підприємствах кондитерської галузі так і в закладах ресторанного господарства.

Для гарантування високої якості бісквітних виробів виділяється певна потреба у поповненні та розширенні їх асортименту особливо в закладах ресторанного господарства. Бісквітному напівфабрикату притаманний гарний зовнішній вигляд, солодкий смак та легка засвоюваність. Відомо, що бісквітні вироби характеризуються як продукти високої калорійності, з підвищеною енергетичною цінністю (від 350 до 528 кКал в залежності від рецептури та складу інгредієнтів), високим вмістом

цукру (35,5% від маси готового виробу), вуглеводів, крохмалю та жиру.

В закладах ресторанного господарства багато уваги надається бісквітним виробам, як виробам, які розширюють асортимент десертних страв в закладі, при цьому вони виготовляються з розробкою нових технологій та додавання інноваційної сировини, яка підвищує їх біологічної та харчової цінності. Основною метою додавання інноваційних інгредієнтів є зменшення кількості вуглеводів, але збільшення вмісту білкових речовин у виробках, які майже не досліджені в даному виді продукту.

Тому, актуальним є розробка нових бісквітних виробів з використанням інгредієнту збагаченого білковим компонентом з метою збільшення асортименту, поліпшення біологічної цінності та утворення конкурентоспроможної продукції на ринку збуту.

У виробництві бісквітних напівфабрикатів досить широко використовують добавки та поліпшувачі рослинного та тваринного походження. Особливе місце займають продукти натуральні рослинні, в склад яких входять інгредієнти, які знаходяться у певному співвідношенні та у вигляді природних сполук (Lysyuk G.M. & est., 2007, с. 58).

Для створення бісквітних виробів оздоровчого, лікувально-профілактичного призначення змінюють рецептуру, склад та технологію приготування. Надання статусу функціонального в технології бісквітних виробів, основна увага приділяється збільшенню вмісту в них:

- нутрієнтів (Levkivska T.M. & est., 2021, с. 40), антиоксидантів (типу винограду темних сортів, чорницю, чорну смородину, ожину, чорноплідну горобину, журавлину, тощо) (Abramova A.G. Rubanka K.V., Pisarets O.P., 2018, с. 9), каротиноїдів (абрикос, обліпихи, гарбуза, моркви) (Pogarska V. V., Pavlyuk R. Yu., Radchenko L. O., 2019, с. 53);

- заміна цукру цукрозаміниками (екстракт стевії, тростинний цукор, стевіозиди (Lakiza O. V., Shcherbina M. V., 2018, с. 26));

- додавання в склад овочевих пюре (Kocherga V.I., 2016, с. 205);

- внесення в рецептуру добавок стабілізуючого характеру (Cherevichna N.I., Garontseva O.V., 2012, с. 61).

Окрім додавання до рецептуру вищезазначених компонентів, в якості харчових добавок, велику увагу дослідники приділяють заміні частини борошна пшеничного на іншу інноваційну сировину.

Часткова заміна пшеничного борошна на борошна амарантового дозволило отримати готовий виріб з більш рівномірним, тонкостінним, еластичним м'якушем та збільшеним вмістом незамінних амінокислот групи В та ненасичених жирних кислот. Про це зазначають у своїй роботі (Matiyashchuk O.V., Furmanova Y.P., P'yanykh S.K. (2017, с. 105).

Lisovska T.O., Chorna N.V., Dyakov O.H. (2016) провели дослідження по заміні пшеничного борошна на екструдоване кукурудзяне борошно. Вони зазначають, що новітній вид борошна покращує якісні показники готового продукту та збільшує терміни його зберігання.

Для зменшення енергетичної цінності та підвищення харчової цінності бісквітних напівфабрикатів використовують мультизернове борошно, яке на ринку України представлено як суміш борошна різних злакових культур, які не призначені для виробництва певної харчової продукції при цьому може використовуватись у різних технологіях. До складу мультизернового борошна можуть входити такі види борошна як: пшеничне борошно м'яких сортів, вівсяне, гречане, житнє, ячмінне, кукурудзяне, гречане, рисове та пшеничне твердих сортів. Вплив такого борошна на органолептичні показники бісквітного напівфабрикату майже не відрізнялись від стави аналогу, про те коефіцієнт підйому бісквітного тіста були значно вищими ніж у звичайного бісквітного напівфабрикату (Yurchenko S.L., Shabelska I.I., 2018).

Велика увагу в літературних джерелах приділяється виробам безглютеного призначення. Для надання бісквітним виробам статусу безглютеновим в їх рецептуру вводиться сировина, яка не має білку глютену, але потрібно врахувати, що такі виробу не будуть мати великою кількості рослинного білку. Тому дослідники (Lebedynets V. T. & est. 2021) пропонують, замінити пшеничне борошно на борошно кукурудзяне та кунжутний шрот у кількості 50:50. З огляду на більш збалансований амінокислотний склад кунжутного шроту та кукурудзяного борошна в порівнянні з борошном пшеничним біологічна цінність інноваційних бісквітних напівфабрикатів збільшилась за вмістом білків, мінеральних речовин, вітамінів та харчових волокон. Органолептичні та структурно-механічні показники якості виготовленого виробу змінились: вироби мали приємний кунжутний смак, гарну пористість та об'єм.

Окрім кунжутного шроту, великий амінокислотний склад мають і продукти переробки з броколі. Саме тому Drabińska N. (2022) запропонувала ввести порошок листя з броколі в рецептуру безглютенових бісквітних міні-тістечок. Автор стверджує, що побічні продукти переробки з броколі є хорошим джерелом вільних амінокислот, що може бути багатообіцяючою стратегією для полегшення симптомів целіакії пов'язаних з дефіцитом незамінних амінокислот.

Goranova, Z., Khvostenko, K., & Petrova, T. (2020). Використали побічні продукти переробки гарбуза для надання бісквітним напівфабрикатам гарних структурно-механічних властивостей. Вчені визначили, що продукти переробки гарбуза, а саме порошок гарбузового насіння – це перспективний шлях для збагачення бісквітних тістечок гарним харчовим та хімічним складом. Вони визначили, що додавання 5,0% порошку із гарбузового насіння зменшили об'єм, але утворили кращу пористість виробів порівняно із стравою аналогом. Колір скоринки змінився при додаванні до страви 10,0% даного субпродукту. Додавання порошку із насіння гарбуза в кількості від 0...10,0% вплинув на харчову цінність виробів: підвищили вміст білку на 14,77%, клітковини на 2,76% та загального вмісту вуглеводів 75,15%. За сенсорними властивостями випечений бісквітний напівфабрикат збагачений 10% порошку гарбузового насіння, мав кращу форму, запах, текстуру м'якушки, колір і смак у порівнянні із іншими зразками.

Печериця є найбільш широко культивованим і споживаним грибом у всьому світі, і на нього припадає близько 40% загального світового виробництва грибів. Збагачення бісквітного тіста білком можна досягти за рахунок включення багатих джерел білка. Печериця є одним із цих джерел, які мають великий потенціал завдяки високому та якісному білку (Ibrahim and Hegazy, 2014). Додавання у рецептуру бісквітного тіста порошку печериць у кількості від 5,0...15,0% збільшило вміст білка та золи. Уявна в'язкість тісту для бісквітного напівфабрикату, а також значення об'єму, пружності та згуртованості випечених коржів збільшувалися зі збільшенням вмісту порошку грибів. При збільшенні порошку шампінйону колір м'якушки змінювався, та в результаті була отримана темніша, червоніша та менш жовта крихта (Fakhreddin Salehi & ect., 2016).

Проаналізувавши роботи українських та зарубіжних науковців, визначимо, що в роботах недостатньо уваги приділяється виготовленню бісквітного напівфабрикату з внесенням в рецептуру білкових компонентів. Адже білкові компоненти – це дефіцитні інгредієнти в системі харчування. Тому досить є актуальним розробити нову технологію приготування бісквітного напівфабрикату з порошком спіруліни, яка збагатить виріб білковими компонентами та покращить харчову цінність виробів.

Метою нашої роботи було проведення досліджень щодо використання порошку спіруліни у виробництві бісквітного напівфабрикату для підвищення біологічної цінності та розширення асортименту в закладах ресторанного господарства.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились шляхом опрацювання українських та літературних джерел, наукових публікацій із питань використання нетрадиційної сировини у технології бісквітних виробів. Методологічною основою є дослідження технології бісквітного напівфабрикату.

Для визначення структурно-механічних властивостей готового виробу перевіряли в'язкість тіста з додаванням інноваційної сировини, тобто порошку спіруліни. В'язкість тіста впливає на піноутворюючу здатність тіста, що є важливим показником для бісквітів і враховуючи, що вводиться нова сировина перевірка показнику в'язкості є необхідною. Ефективну в'язкість тіста визначали за допомогою ротаційного віскозиметра Реотест-2.

Органолептичні показники проводили за сенсорною оцінкою якості готових виробів.

Результати. В даному дослідженні був використаний збивний борошняний напівфабрикат, який являє собою піно подібну тістову масу. Проаналізувавши ряд наукових праць щодо удосконалення бісквітних напівфабрикатів зазначимо, що основними напрямками є покращення піноподібної структури напівфабрикату та збільшення його харчової цінності (Dotsenko V.F. & ect., 2014, с. 64), а також покращення структурно-механічних властивостей, подовження терміну зберігання та зниження калорійності готового виробу (Karlina T.V., 2014, с. 23).

Для здійснення заданих цілей зазвичай у бісквітний напівфабрикат додають інноваційні інгредієнти, які за

своїм хімічним складом та функціональними властивостями відрізняються від звичайних харчових продуктів.

Однією із таких добавок є порошок спіруліни. Спіруліна – це мікрододороць або цино бактерія, яка використовується для нормалізації обмінних процесів в організмі та зменшенню впливу радіонуклідів і шкідливих речовин. Спіруліну добувають і таких країнах як Гаваї, Мексика, Азія і Центральна Африка. Для кращої реалізації спіруліну виготовляють у вигляді порошку, капсул та таблеток, рідини та рослинної олії та розповсюджують до інших країн у всьому світу (Yushchenko K. O., 2019, с. 120). Її розвиток проходить в лужному середовищі з рН 8-11. Спіруліну одержують шляхом культивування у закритих середовищах для забезпечення її стабільності біохімічного складу та санітарної чистоти продуктів (Letuta T.M., 2012, с. 73).

Водорості спіруліни завдяки своїм біологічним властивостям та економічно вигідним показникам широко використовуються в фармацевтичній та косметичній промисловості. В харчовій же промисловості ці водорості тільки починають набирати поширення.

Спіруліна багата на валін, лейцин, ізолейцин, треонін. Вміст білку в спіруліні досягає 68 %, який засвоюється організмом на 80-90%. Малий вміст ліпідів (3-6%) та вуглеводів (20%) в даній культурі зумовлений умовами культивування (Letuta T.M., 2012, с. 73). Білки спіруліни вважають легкозасвоюваними. Це пояснюється тим, що клітинні стінки водоростей містять в своєму складі речовини, які є простими цукрами, що легко перетравлюються організмом.

Спіруліна містить велику кількість фосфору, заліза та кальцію. Зазвичай її додають до продуктів харчування з метою впливу на кишково-шлунковий тракт: виведення з організму шлаків, токсинів, радіонуклідів, але якщо людина має хронічні хвороби кишково-шлункового тракту то споживати спіруліну не рекомендують. Рекомендують споживати спіруліну людям всіх вікових категорій особливо спортсменам, людям, які працюють у важких умовах праці, людям, які слідкують за своїм здоров'ям, вагітним.

В харчовій промисловості спіруліну використовують для покращення харчових властивостей таких продуктів, як макаронні вироби, молочні продукти, функціональні напої (Shahid F., 2016). Широкого значення спіруліна набула у харчуванні дітей, особливо в тих країнах, де вважається, що діти не отримують достатню кількість білку та всіх незамінних амінокислот. Спіруліна є природним барвником у продуктах харчування, а також використовується для годування тварин та риб (Tavakoli, M.; 2019).

Структурно-механічні дослідження бісквітного напівфабрикату із введенням порошку спіруліни проводились на реотесту. За контроль взяли технологію бісквіту круглого. Для дослідження структурно-механічних та органолептичних показників тістових напівфабрикатів проводились із вмістом спіруліни 5,0%; 10,0% та 15,0% до загальної маси борошна.

Контроль – бісквіт круглий; зразок 1 – напівфабрикат з додаванням порошку спіруліни 5,0%; зразок 2 – напів-

фабрикат з додаванням 10,0% порошку спіруліни; зразок 3 – напівфабрикат з додаванням 15,0% спіруліни (Рис. 1).

З огляду на Рис. 1 зазначимо, що всі криві течії показують, що зі збільшенням швидкості зсуву в'язкість системи зменшують. В'язкість тіста знижується при збільшенні швидкості зсуву. Така поведінка пов'язана із піно подібною структурою, що здатна змінювати свою внутрішню будову в залежності від механічного навантаження на неї. Також, наведені дані свідчать про зниження в'язкості в разі збільшення концентрації порошку спіруліни в діапазоні 5,0-15,0%.

Результати органолептичної оцінки готових виробів представлено в таблиці 1.

При проведенні сенсорного аналізу органолептичних показників якості з використанням білкової сировини, а саме порошку спіруліни у кількості від 5,0% ... 15,0%, найкращі результати отримав виріб з додаванням 10,0% порошку. Дослідження проводились після випікання виробу.

Бісквітний напівфабрикат мав рівномірну золотаву поверхню, форма кругла, без пошкоджень, зламів та ум'ятин, з рівномірним розрізом для нарізних виробів; у розрізі, напівфабрикат мав гарну пористість, без слідів не промішування; колір виробу – зелений.

Обговорення. Найбільшу в'язкість має зразок з додаванням порошку спіруліни у кількості 5,0%, поступове збільшення дозування порошку спіруліни зумовило зниження в'язкості, тісто стало пластичним і тягучим, однак піноутворююча здатність бісквітного тіста не змінилась. Тобто додавання порошку спіруліни знижує в'язкість системи незначно, однак тісто набуває темно-зеленого кольору і має виражений запах водорості. Тому проаналізувавши отримані результати, визначено доцільним використовувати порошок спіруліни у кількості 10,0%.

Важливим органолептичним показником інноваційного бісквітного напівфабрикату був смак та запах виробу. Адже порошку спіруліни притаманний зелений колір та запах водоростей. Після випікання бісквітний напівфабрикат з порошком спіруліни мав смак притаманний бісквітному напівфабрикату, не відчувався морський запах, на відміну від зразку з додаванням порошку спіруліни у кількості 15,0%.

За органолептичними показниками вважаємо, що порошок спіруліни доцільно вводити в бісквітний напівфабрикат як інгредієнт, який підвищує харчову цінність готового виробу, збільшує в ньому вміст біологічно-активних речовин.

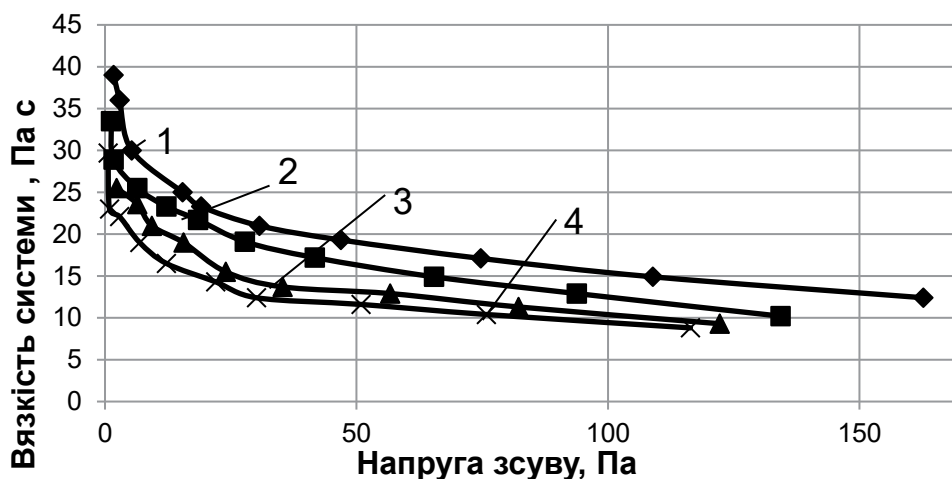


Рис. 1. Залежність ефективної в'язкості від напруги зсуву в бісквітному тісті з додаванням порошку спіруліни: 1 – контроль, 2 – з внесенням 5,0% порошку спіруліни, 3 – з внесенням 10,0% порошку спіруліни, 4 – з внесенням 15,0% порошку спіруліни

Таблиця 1

Органолептичні показники випеченого бісквіту з порошком спіруліни

| Показник | Зразки | | |
|------------------|--|--|--|
| | 5,0% | 10,0% | 15,0% |
| Смак та запах | Смак притаманний бісквіту, не присутній рибний запах | Смак притаманний бісквіту, не присутній рибний запах | Дуже виражений рибний смак та аромат |
| Форма | Кругла, без пошкоджень, зламів і ум'ятин, з рівним зрізом для нарізних виробів | | |
| Поверхня | Гладка | | |
| Зовнішній вигляд | Відповідає за показниками бісквітного напівфабрикат | | |
| Колір | Світло зелений | Зелений | Темно зелений |
| Вид у розрізі | Напівфабрикат має гарну пористість, без слідів не промішування | Напівфабрикат має гарну пористість, без слідів не промішування | Напівфабрикат має гарну пористість, затягне без слідів не промішування |

Висновок. Таким чином, проведені дослідження показали, що при визначенні в'язкості за допомогою реотеста внесення в рецептуру порошку спіруліни призводить до зменшення ефективної в'язкості напівфабрикату тіста, однак не впливає на його піноутворюючу здатність.

Визначення органолептичних показників виробу підкреслили, що оптимальна кількість додавання поро-

шку спіруліни у рецептуру бісквітного напівфабрикату є 10,0%, ця кількість не погіршує органолептичних показників готового виробу, однак сприяє підвищенню харчової цінності готового бісквіту, вміст білку у ньому підвищується на 50,0%. Тому при розробці бісквітного напівфабрикату у закладах ресторанного господарства потрібно врахувати доцільність використання порошку спіруліни у кількості 10,0%.

Бібліографічні посилання:

1. Abramova A., Rubanka K., & Pisarets O. (2018). Udoskonalennia tekhnologii biskvitiv funktsionalnogo pryznachennia dlia pidpriemstv kondyterskoi haluzi ta zakladiv restorannoho hospodarstva. [Improvement of the technology of functional flour confectionery products for enterprises of the confectionery industry and restaurants]. Kyiv: Food Resources 6(10), 7-12. (in Ukrainian), <https://doi.org/10.31073/foodresources2018-10-01>
2. Drabińska N. (2022). The Evaluation of Amino Acid Profiles in Gluten-Free Mini Sponge Cakes Fortified with Broccoli By-Product. Poland: *Separations*, 9(3):81. (in English). <https://doi.org/10.3390/separations9030081>
3. Goranova, Z., Khvostenko, K., & Petrova, T. (2020). Yakist biskvitnykh napivfabrykativ, zbahachenykh vtorynnymy produktamy pererobky harbuza. [The quality of biscuit semi-finished products enriched with secondary products of pumpkin processing]. Odesa: Food Science and Technology, 14 (3) (in English). <https://doi.org/10.15673/fst.v14i3.1792>
4. Ibrahim M, Hegazy A. (2014). Effect of replacement of wheat flour with mushroom powder and sweet potato flour on nutritional composition and sensory characteristics of biscuits. *Curr Sci Int.*; 3 (1):26–33 (in English).
5. Dotsenko V. F., Myroshnyk Y. A., Shidlovskaya E. B., Medved I. M. (2014). Yssledovanye vozmozhnosti yspolzovanyia plodovykh poroshkov v tekhnologii byskvitnykh polufabrykatov. [Research on the possibility of using fruit powders in the technology of biscuit semi-finished products]. Eastern European journal of advanced technologies. Issue 10 (69), vol. 3. (in Ukrainian).
6. Kaplin T.V., Stolyarchuk V.M. (2014). Vplyv vydu boroshna nasinnia oliinykh struktur na yakist boroshniannykh kondyterskykh vyrobiv. [The influence of the type of flour, seeds, oil structures on the quality of flour confectionery products. New technologies and equipment of food production: materials of the interuniversity. science and practice seminar]. Poltava: PUET. (in Ukrainian)
7. Kocherga V. I. (2016). Udoskonalennia retsepturnoho skladu biskvitnogo napivfabrykatu. [Improvement of the recipe composition of semi-finished biscuit]. Melitopol: Proceedings of the Tavri State Agro-Technological University. Technical sciences. 16. (in Ukrainian). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptdau_2016_16_1_31
8. Lakiza O. V., Shcherbina M. V. (2018). Rozrobka biskvitnykh napivfabrykativ diietynoho pryznachennia. [Development of biscuit semi-finished products for dietary purposes]. Kyiv: Zernovi produkty i kombikormy Vol.18, I.3 / – 25-29 p.(in Ukrainian)
9. Lisovska T. O., Chorna N. V., Dyakov O. G. (2016). Doslidzhennia reolohichnykh vlastyvopei biskvitnogo tista z vykorystanniam ekstrudovanoho kukurudzianoho boroshna. [Research on the rheological properties of biscuit dough using extruded corn flour]. Kharkiv: Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnologii, No. 2(11). (in Ukrainian)
10. Lebedynets V. T., Dontsova I. V., Gavrylyshyn V. V., Lebedynets A. I. (2021). Rozshyrennia asortymentu bezgliutenovykh biskvitnykh napivfabrykativ. [Expanding the assortment of gluten-free biscuit semi-finished products]. Lviv: Bulletin of the Lviv University of Trade and Economics. Technical sciences. No. 25, 52-59 (in Ukrainian)
11. Levkivska T. M., Benderska O. V., Matko S. V. (2021). Tekhnolohiia vyrobnytstva sukhoho napovniuvacha z harbuza dlia kondyterskoi promyslovosti. [Production technology of dry filling from pumpkin for confectionery industry]. Lviv: Bulletin of the Lviv University of Trade and Economics. Technical sciences. No. 26. (in Ukrainian)
12. Letuta T.M., Cherevichna N.M., Gapovtseva O.V. (2012). Tovaroznavstvo produktiv funktsionalnogo pryznachennia. Opornyi konspekt leksii. [Merchandising of functional products. Reference summary of the lecture]. Kharkiv: Teaching edition. Kharkiv State University of Food and Trade. (in Ukrainian)
13. Matiyaschuk O. V., Furmanova Yu. P., P'yanykh S. K. (2017). Vykorystannia amarantovoho boroshna v tekhnologii vyrobnytstva biskvitnykh napivfabrykativ. [The use of amaranth flour in the production technology of biscuit semi-finished products]. Kyiv: The practical significance of modern scientific research. 103-112. (in Ukrainian)
14. Pogarska V.V., Pavlyuk R.Yu., Radchenko L.O., et al. (2019). Rozrobka karotynoidnogo pechya «mrizhki» z vykorystanniam naturalnykh roslynnnykh nanodobavok dlia zdorovoho kharchuvannia. [Development of carotenoid biscuits "sancakes" using natural plant nano-additives for healthy nutrition]. Kharkiv: Technical sciences Scientific Journal "Science Rise" No. 5(58). (in Ukrainian). DOI: 10.15587/2313-8416.2019.169056
15. Shahid, F.; Alasalvar, C. (2016). Hand book of Functional Beverages and Human Health. USA: CRC Press: Boca Raton, FL.; Volume 11. (in English).
16. Lysyuk H. M., Samokhvalova O. V., Kucheruk Z. I., Postnova O. M., Oliynyk S. G., Artamonova M. V., Nemirich O. V., Starchayenko O. T. (2007). Tekhnolohiia kondyterskykh i khlibobulochnykh vyrobiv: Navch. Posibnyk. [Technology of confectionery and bakery products: Education. manual]. Kharkiv: Under the editorship H. M. Lysyuk-Kharkiv: KhDUHT. (in Ukrainian).
17. Tavakoli, M.; Habibi Najafi, M.B.; Mohebbi, M. (2019). Effect of the milk fat content and starter culture selection on proteolysis and antioxidant activity of probiotic yogurt. *Heliyon*, 5. (in English).

18. Fakhreddin Salehi, Mahdi Kashaninejad, Fereshteh Asadi, and Amin Najafi. (2016). Improvement of quality attributes of sponge cake using infrared dried button mushroom. *J Food Sci Technol. Mar*; 53(3): 1418–1423. doi:10.1007/s13197-015-2165-9 (in English).

19. Cherevichna N. I., Gapontseva O. V. (2012). Formuvannia yakosti biskvita z dodavanniam molochnoi syrovatky ta mikrobnogo polisakharydu ksampanu. [Formation of the quality of sponge cake with the addition of milk whey and microbial polysaccharide xampan]. Kharkiv: Eastern European Journal of Advanced Technologies 2/12(56). (in Ukrainian).

20. Yurchenko S. L., Shabelska I. I. (2018). Udoskonalennia retsepturnoho skladu biskvitnoho napivfabrykatu z vykorystanniam multyzernovoho boroshna. [Improvement of recipe composition of semi-finished biscuit using multigrain flour]. Kherson: Young Scientist No. 10 (62). (in Ukrainian).

21. Yushchenko K. O. (2019). Osoblyvosti zastosuvannia spiruliny yak roslynnoi biodobavky. [Peculiarities of the use of spirulina as a vegetable bioadditive]. Odesa: Problems of forming a healthy lifestyle among young people: coll. materials of the XII All-Ukrainian science and practice conf. young scientists and students from international Participation. (in Ukrainian).

Koshel O. Yu., PhD in Technical Sciences, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Mazurenko I. K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Sabadash S. M., PhD in Technical Sciences, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Prospects for improving the biological value of biscuit products in restaurants

The article reflects the theoretical and experimental justification of the use of protein-enriched raw materials in the technology of semi-finished biscuits. Biscuit semi-finished products are considered products that contain a small amount of protein and a large amount of carbohydrates in their nutritional composition. Having analyzed the review of literary sources, it was determined that among the variety of raw materials that are added to the technology of semi-finished biscuits, it would be relevant to use raw materials that have a significant amount of easily digestible proteins and are freely available for restaurants.

Spirulina powder was used as an innovative raw material. Spirulina powder in concentrations of 5.0...15.0% was added to the recipe of the semi-finished round biscuit. To determine the exact concentration of the amount of powder, first of all, the main structural-mechanical and organoleptic properties of the biscuit semi-finished product were studied. To determine the structural and mechanical properties of the finished product, the viscosity of the dough with the addition of an innovative raw material, i.e. spirulina powder, was tested. It is important that the viscosity of the dough affects the foaming ability of the dough, and is one of the main indicators for biscuits. Given that a new raw material is being introduced, checking the viscosity index is necessary. To determine the organoleptic indicators, the method of sensory evaluation of the baked semi-finished product was used. According to the results of the study of the structural and mechanical properties and organoleptic indicators of the products, the innovative semi-finished biscuit with the addition of spirulina powder in the amount of 10.0% had the best indicators in comparison with other samples. However, according to organoleptic indicators, all samples had a sea smell, which is not quite rational in the technology of semi-finished biscuit

Therefore, in the future, in order to determine the exact concentration of spirulina powder, it is important to conduct a general assessment of the quality of the semi-finished biscuit among the consumers of the restaurant industry.

Key words: flour confectionery, biscuit semi-finished product, whipped flour semi-finished product, round biscuit, spirulina, technology, viscosity, raw material enriched with protein.

ПЕРСПЕКТИВИ ПОЄДНАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ В МОБІЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИНАХ

Кравченко Василь Валерійович

кандидат технічних наук, доцент
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0003-2334-0705
kr.vasyl.v@gmail.com

Войтік Андрій Володимирович

кандидат технічних наук, доцент
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0002-8196-3102
av.afex81@gmail.com

Пушка Олександр Сергійович

кандидат технічних наук, доцент
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0002-6481-8536
pushka79@ukr.net

Кутковецька Тетяна Олександрівна

кандидат економічних наук, доцент
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна
ORCID: 0000-0002-4879-2954
tanya_kut@ukr.net

Сучасні системи гідроприводу мають доволі низьку енергетичну ефективність, яка складає лише близько 21-22%, цьому сприяють застосування великої кількості керуючих дроселюючих клапанів та втрати енергії безпосередньо в гідролініях та гідропристроях. Одним із способів зменшення втрат енергії в гідросистемах мобільних машинах є поєднання гідравлічного та електричного приводів. Додатковою перевагою такого поєднання є також можливість рекуперації саме електричної енергії, що підвищує енергоефективність таких машин.

Підвищення ефективності машин шляхом відмови від централізованої системи гідроприводу з клапанним керуванням потоком рідини та переходу до зонального гідроприводу з електро-насосним керуванням потоком міститься в багатьох наукових працях, де зазначається висока енергетична ефективність децентралізованих систем гідроприводу (до 75% порівняно з традиційними системами).

Ступінь насичення сільськогосподарських машин гідравлічним приводом різниться, залежно від функціонального призначення цих машин їх інноваційних вдосконалень та вартості. Поєднання електричного та гідравлічного приводів в цих машинах можна розглядати в декількох напрямках: електричне керування гідравлічною апаратурою та керування потоком з допомогою електричних двигунів, які можуть змінювати швидкість обертання валу привода гідравлічного насоса. В свою чергу застосування електричного приводу для привода гідравлічних елементів може застосовуватись у наступних варіантах: гібридна концепція, коли в загальну схему гідроприводу вводяться привідні елементи електроприводу; концепція загального гідроприводу, коли один електричний двигун та гідравлічний насос використовують для роботи всієї гідравлічної системи машини; концепція зонального гідроприводу, коли на кожний виконавчий механізм встановлюється окремий електродвигун в парі з гідравлічним насосом.

Аналіз існуючих способів вдосконалення систем гідроприводу шляхом поєднання його з електроприводом показує, що більш перспективним вважається розвиток зональних та гібридних електрогідравлічних систем, а більшість останніх наукових розробок пов'язаних з електрогідравлічним приводом відносяться до тракторів загального призначення та самохідних машин, де в основному досліджуються централізовані та децентралізовані електрогідравлічні системи.

Ключові слова: сільськогосподарські машини, гідропривід, електропривід, електрогідравлічні системи.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.7>

Вступ. Питання переходу приводу сільськогосподарських машин на електричні джерела енергії постає в умовах глобальної мети зменшення викидів шкідливих газів в атмосферу для сповільнення темпів зміни клімату (Huang et al., 2018; Sharpe, 2019; Gonzalez-de-Soto et. Al., 2016). З іншої сторони ставиться завдання

щодо підвищення ефективності гідроприводу машин. Адже гідропривід, завдяки таким своїм властивостям як надійне забезпечення передачі необхідної потужності та зусилля, а також надійності та міцності самої системи залишається головним привідним механізмом в багатьох стаціонарних машинах різних галузей промисловості та

спеціальних мобільних машин до яких відносяться і сільськогосподарські машини (Exner, 1991).

Сучасні системи гідроприводу мають доволі низьку енергетичну ефективність, яка складає лише близько 21-22% (Qu, 2020; Love et al., 2012), цьому сприяють застосування великої кількості керуючих дроселюючих клапанів та втрати енергії безпосередньо в гідролініях та гідропристроях (Васса, 2018). Одним із способів зменшення втрат енергії в гідросистемах мобільних машинах є поєднання гідравлічного та електричного приводів, коли електричні пристрої допомагають керувати гідроприводом чи замінюють якісь його елементи (Inderelst et al., 2020). Електричні двигуни мають великий крутний момент, тому електричний привід найкраще реалізуються при використанні його для різних оборотних операцій, таких як привід ходових коліс машин, для прикладу (Baek et al., 2022). Але операції пов'язані з лінійними переміщеннями гірше реалізуються електричним приводом, особливо при виконанні енергозатратних точних операцій. Таку роботу найкраще виконують саме гідравлічні пристрої, які є компактними, надійними та можуть забезпечити паралельну роботу декількох циліндрів, що є особливо важливим для сільськогосподарських машин (Fassbender et al., 2021). Саме тому все більше наукових досліджень спрямовується на поєднання цих приводів в машинах для отримання максимальної енергетичної ефективності при забезпеченні необхідної надійності системи. Практичне зниження витрат палива при використанні таких гібридних систем може становити до 10-50% порівняно із застосуванням традиційного гідравлічного приводу (Lajunen & Suomela, 2012). Додатковою перевагою такого поєднання є також можливість рекуперації саме електричної енергії, що підвищує енергоефективність таких машин (Zhang et al., 2019).

Постановка завдання. Проаналізувати існуючі способи вдосконалення систем гідроприводу шляхом поєднання їх з електроприводом, які використовуються або можуть використовуватись в машинах сільськогосподарського призначення.

Матеріали і методи досліджень. Питання удосконалення гідроприводу машин завжди було актуальним (Quan et al., 2021; Padovani et al., 2020; Ristic & Wahler, 2018). Підвищення ефективності машин шляхом відмови від централізованої системи гідроприводу з клапанним керуванням потоком рідини та переходу до зонального гідроприводу з електро-насосним керуванням потоком міститься в багатьох наукових працях (Zhang et al., 2017; Pietrzyk et al., 2018). Огляд та класифікація таких систем з їхніми перевагами та недоліками наведені в роботі (Ketelsen et al., 2019), де також зазначається висока енергетична ефективність децентралізованих (зональних) систем гідроприводу (до 75% порівняно з традиційними системами), а вектор наукових досліджень необхідно направити на вдосконалення їх надійності та керованості. А в роботі (Qu et al., 2022) обґрунтовується розробка компактного комбінованого пристрою, який поєднує в собі електричний двигун та гідравлічний насос.

Авторами (Fassbender et al., 2021) проведено огляд останніх досліджень в області електро-гідравлічних систем для важких мобільних спеціальних машин. В результаті аналізу виробничих новацій та наукових праць останніх десятиріч зроблено висновки, що для важких мобільних спеціальних машин швидше відбуваються впровадження вдосконалених централізованих гідравлічних систем з клапанним регулюванням, які на сьогодні вважаються менш прогресивними, ніж новітніх децентралізованих електрогідравлічних систем. Актуальність переходу на децентралізовані електрогідравлічні системи також відображається в роботі (Lodewyck & Zurbrugg, 2016), де на прикладі екскаватора показано переваги такої системи.

Перспективи розвитку та впровадження електрифікованих привідних систем в спеціальних позашляхових мобільних машинах безпосередньо пов'язані з розвитком можливих джерел електричної енергії для живлення привідних електродвигунів (Lajunen et al., 2018). На сьогодні найбільш поширеними є літій-іонні батареї (Lu et al., 2013), але розвиваються і інші типи батарей (Campillo et al., 2015). Поряд з дослідженням батарей також розвиваються технології ультраконденсаторів, які дають можливість накопичувати велику кількість енергії за короткі проміжки часу (Li et al., 2016; Burke & Miller, 2011).

Результати досліджень. Ступінь насичення сільськогосподарських машин гідравлічним приводом різниться, залежно від функціонального призначення цих машин їх інноваційних вдосконалень та вартості. Але, зазвичай, навіть самі прості причіпні машини, такі як борони, культиватори чи котки, як мінімум оснащені гідравлічними системами опускання і підйому їх в робоче і транспортне положення. А самохідні збиральні машини чи оприскувачі можна класифікувати як важкі спеціальні позашляхові машини, основні виконавчі органи яких приводяться в рух з допомогою елементів гідроприводу.

Удосконаленнями приводів мобільних машин є поєднання переваг гідравлічного та електричного приводів та відповідно уникання недоліків вказаних приводів, дані системи ще називають гібридними системами. Гібридність таких систем виражається в тому, що рух робочих органів може відбуватись безпосередньо від гідроприводу або електроприводу, а також джерелом енергії для даних систем можуть бути генератор, акумулятор чи гідроакумулятор (рис. 1).

Для прикладу, переваги гібридної системи керування стосовно втрат енергії порівняно з гідравлічною Load Sensing наведено в роботі (Li et al., 2019).

Основною метою даної розробки є уникання використання дроселюючих гідравлічних апаратів і здійснення керування двигунами з допомогою гідро-електричних керуючих модулів (ГЕКМ) (рис. 2), що також додатково дає можливість рекуперації як електричної так і гідравлічної енергії. Дана система поєднує в собі переваги як електро так і гідроприводу, а саме: передача енергії відбувається саме через гідропривід, електропривід забезпечує точний контроль керування, рекуперована енергія накопичується як в гідроакумуляторах так і в електричних батареях.

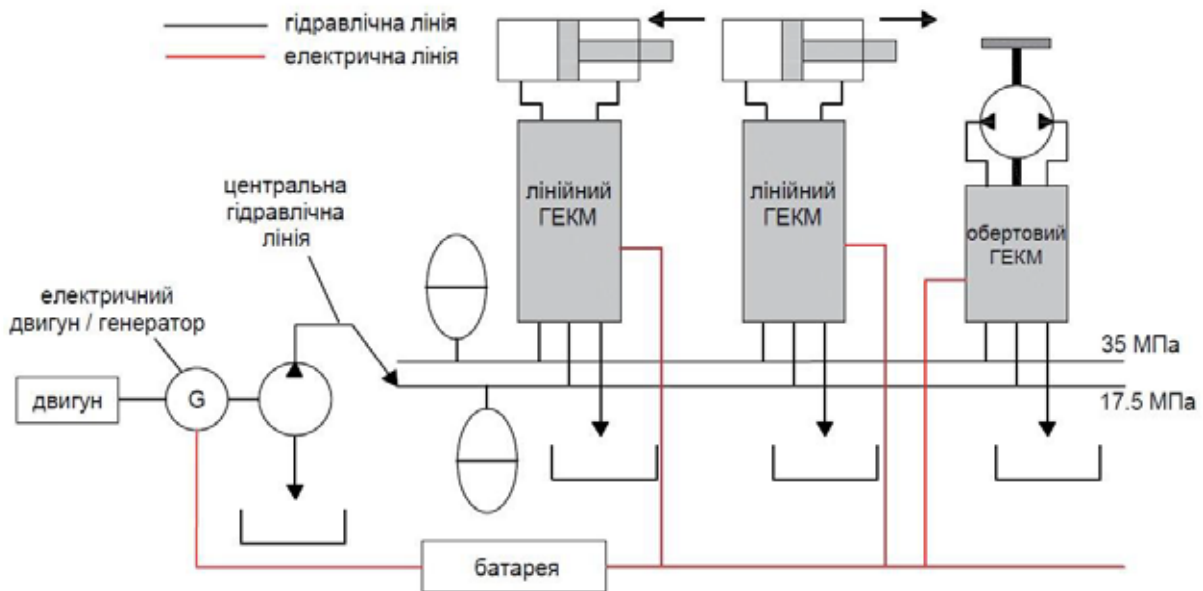


Рис. 1. Схема гібридної гідро-електричної установки (Li et al., 2019)

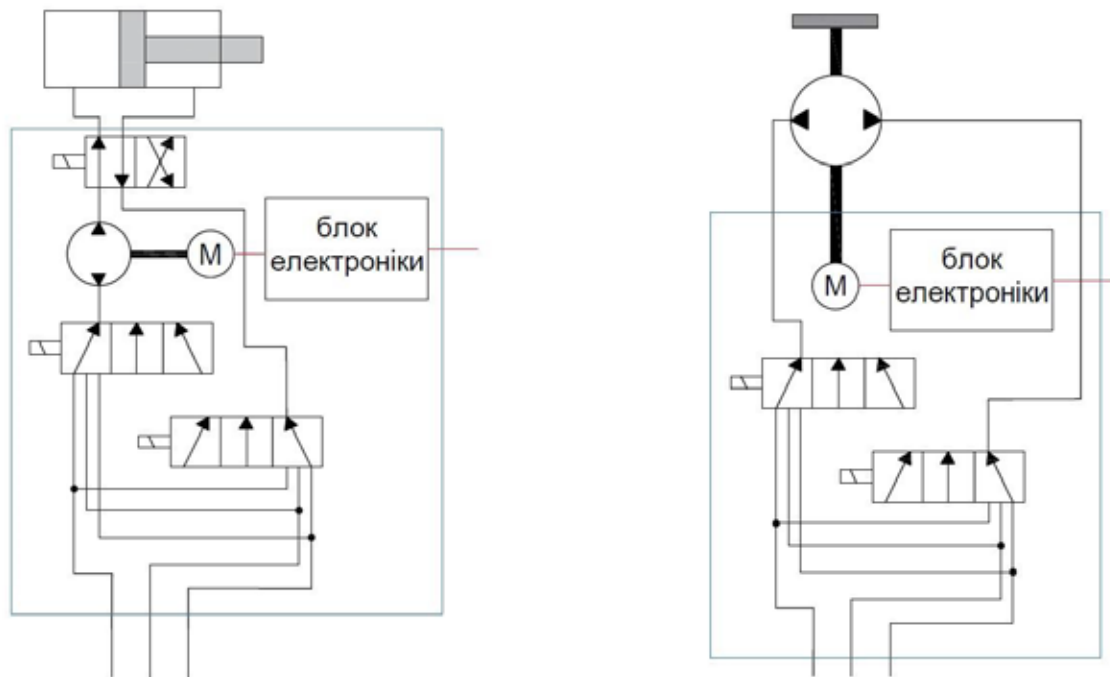


Рис. 2. Гідро-електричні керуючі модулі гібридної гідро-електричної установки: лінійний та обертовий (Li et al., 2019)

Результати досліджень (Li et al., 2019) показують (рис. 3), що при використанні гібридної системи керування гідроприводом, в даному випадку, сумарні втрати енергії зменшуються на майже на 40%, а можливість системи рекуперувати енергію збільшилась у два рази.

Поєднання електричного та гідралічного приводів можна розглядати в декількох напрямках (рис. 4), а саме: електричне керування гідралічною апаратурою та керування потоком з допомогою електричних двигунів, які можуть змінювати швидкість обертання валу привода гідралічного насоса.

В свою чергу застосування електричного приводу для приводу гідралічних елементів може застосовуватись у наступних варіантах: гібридна концепція, коли в загальну схему гідроприводу вводяться відповідні елементи електроприводу; концепція загального гідроприводу, коли один електричний двигун та гідралічний насос використовують для роботи всієї гідралічної системи машини; концепція зонального гідроприводу, коли на кожний виконавчий механізм встановлюється окремий електродвигун в парі з гідралічним насосом. Остання концепція вже реалізо-

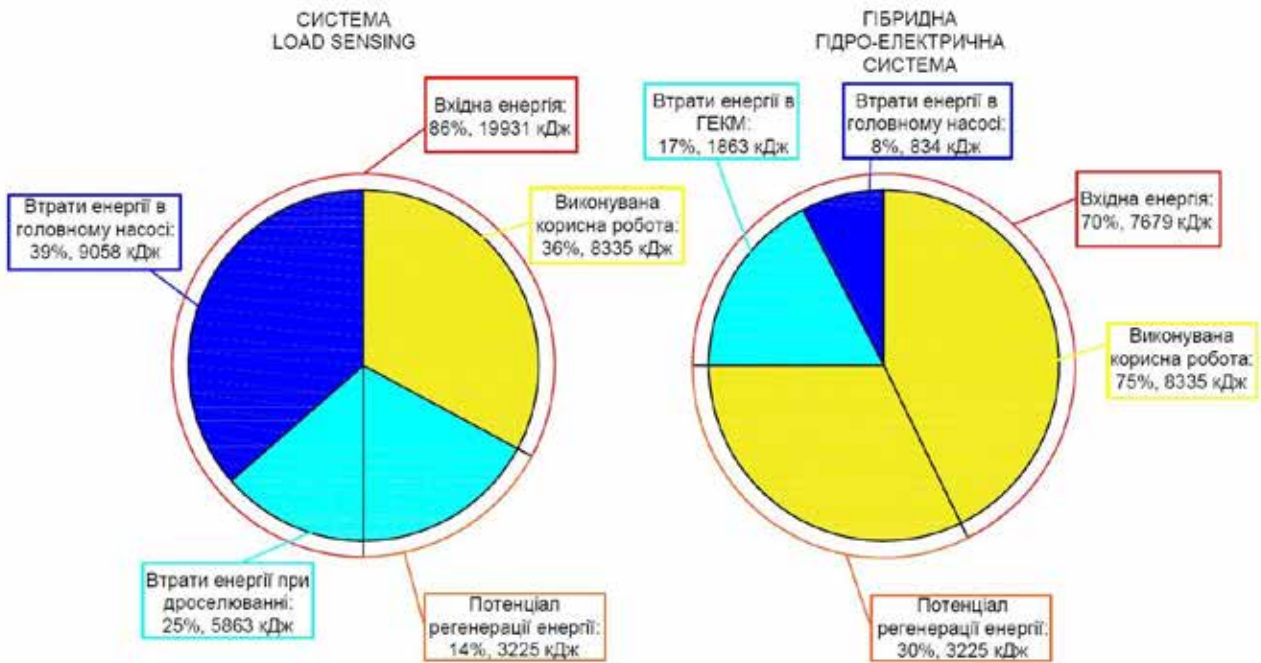


Рис. 3. Порівняння енергетичної ефективності роботи гідроприводу з системами Load sensing та Гібридною гідроелектричною системою (Li et al., 2019)



Рис. 4. Поєднання електричного та гідравлічного приводів

вана на літаках та стаціонарних гідравлічних машинах (Ivantysynova, 2002), щодо мобільних спеціальних машин то тут поки що ідуть дослідження та створюються прототипи.

Так, в (Peitsmeyer, 2020) пропонується система зонального гідроприводу, що передбачає створення змінного електричного струму генератором, привід якого можуть забезпечувати різні джерела енергії (рис. 5). Вироблена електрична енергія забезпечує живлення електричних двигунів виконавчих механізмів. Також дана система має здатність до рекуперації та накопичення електричної енергії.

Концепція керування виконавчим механізмом (гідравлічним циліндром чи гідромотором) безпосередньо з допомогою пари електричний мотор-насос (рис. 6) який створює необхідний потік ($Q_{нас} = Q_{вм}$) базується на рівняннях (1-3) (Fassbender et al., 2021):

$$v = \frac{Q_{вм}}{A} \quad (1)$$

$$Q_{нас} = n_{ед} \cdot V_n \quad (2)$$

$$v = \frac{n_{ед} \cdot V_{нас}}{A} \quad (3)$$

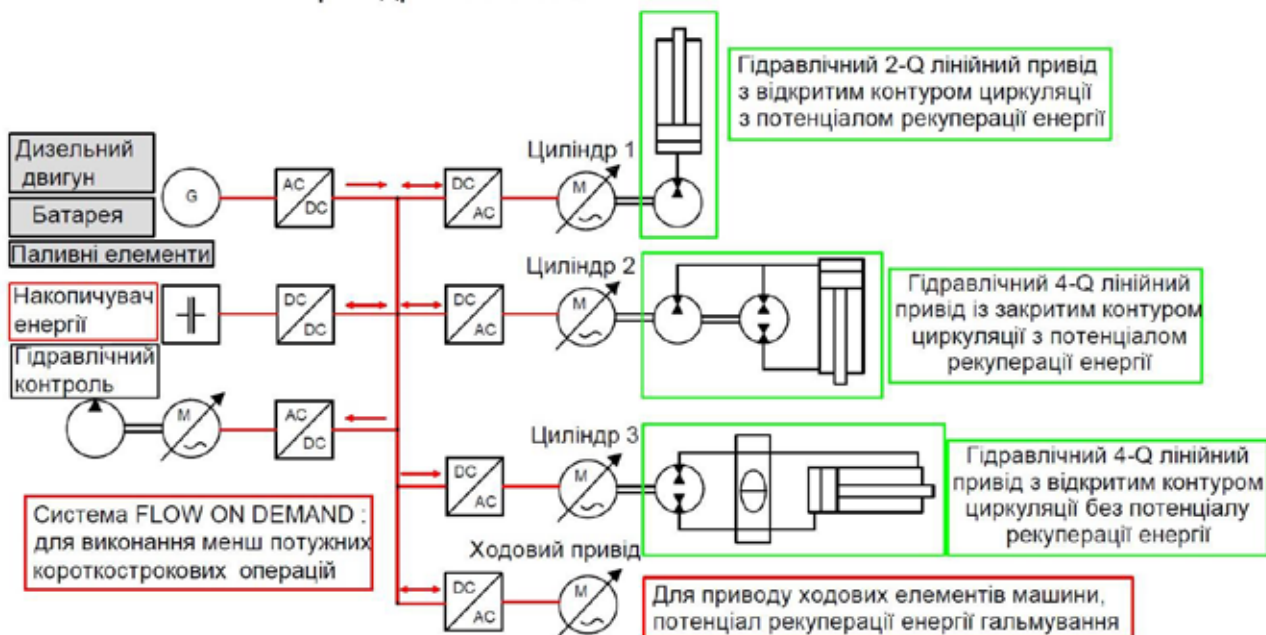


Рис. 5. Приклад електро-гідралічної системи (Peitsmeyer, 2020)

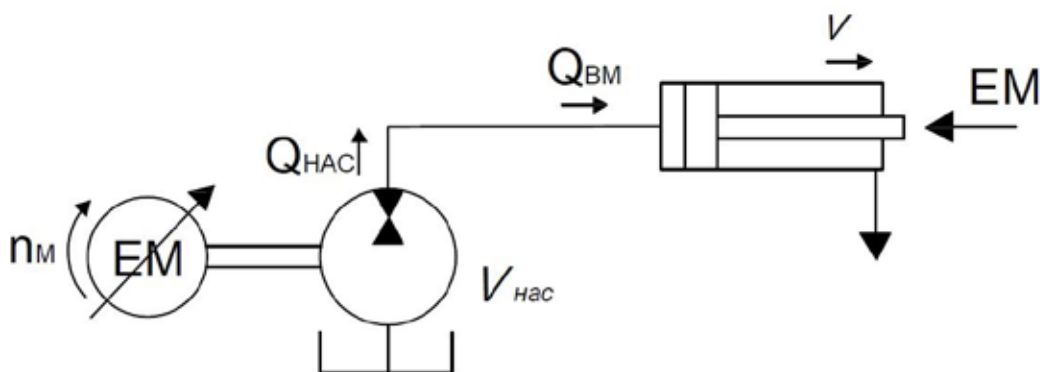


Рис. 6. Керування швидкістю штока гідралічного циліндра з допомогою електродвигуна (Fassbender et al., 2021)

де v – швидкість руху штоку циліндра, A – площа поршня, $Q_{нас}$ – подача насоса, $Q_{вм}$ – подача виконавчого механізму, $n_{ед}$ – швидкість обертання електродвигуна, $V_{нас}$ – об'єм насоса.

При такому поєднанні швидкість руху виконавчого механізму напряму залежить від швидкості руху валу електродвигуна і необхідність у додаткових регулювальних пристроях відпадає. Крім того, зворотній рух робочих органів під дією зовнішніх сил примусить обертатись вал електричного двигуна, що дозволить йому працювати в режимі генератора і виробляти при цьому електричну енергію.

Також до переваг зонального гідроприводу можна віднести зменшення довжини гідралічних ліній вздовж машини, що призведе до зменшення втрат на опір в цих гідролініях та до збільшення його жорсткості; плюс гідралічна система буде більш компактною.

Але впровадження зонального гідроприводу тягне за собою і деякі виклики які потрібно вирішити. По-перше

це обслуговування робочої рідини (Michel & Weber, 2017), адже за відсутності центрального резервуару необхідно передбачити такий резервуар в зоні роботи кожного виконавчого механізму, також при цьому необхідно забезпечити очищення робочої рідини та підтримання її в заданому температурному режимові. Відомо, що температурний режим робочої рідини впливає на її в'язкість та можливість появи такого негативного явища як кавітація при низькій температурі робочої рідини та підвищених виточках, зменшенню змащення та як наслідок зменшення ресурсу роботи гідроприводу при підвищених температурах робочої рідини.

Ще однією проблемою може бути наявність вільного місця на машинах, адже однією з переваг класичних схем гідроприводу в мобільних машинах є саме компактність гідроприводів. При зональному розміщенні гідроприводів виникає необхідність виділення місця на машині біля виконавчого механізму для розміщення додатково елек-



Рис. 7. Трактор John Deere 6210R з електричним двигуном який живиться електроенергією через кабель

тричного двигуна, насоса та іншого гідравлічного обладнання, при цьому також необхідно враховувати масу встановлюваного обладнання (Ketelsen et al., 2019).

Також, в концепції зонального гідроприводу передбачається наявність на кожній причіпній машині власного комплекту гідроприводу з електричним двигуном, живлення якого буде забезпечувати ведучий енергозасіб. Очевидно що це призведе до здороження причіпних машин та неможливості агрегатування машин випущених раніше з такими енергозасобами за умови відсутності в них гідравлічних виходів (Fassbender et al., 2021).

Коли мова йде про вдосконалення машин шляхом застосування в них електричного приводу одним з варіантів є заміна двигуна внутрішнього згорання електричним двигуном. Тобто, гідравлічна система машини не змінюється і, відповідно, її ефективність залишається такою ж. В даному випадку використовуються відомі переваги електричних двигунів відносно двигунів внутрішнього згорання (Moreda et al., 2016), такі як підвищений коефіцієнт використання енергії, усунення шкідливих викидів газів та технологічних рідин в навколишнє середовище, можливість застосування таких машин в закритих приміщеннях ферм, складів, теплиць тощо. При реалізації такого підходу відпадає необхідність у оснащенні причіпних сільськогосподарських машин, які агрегатуються з енергетичними засобами, додатковим гідравлічним обладнанням.

Як приклад відмови від двигуна внутрішнього згорання на користь електродвигуна можна навести прототип John Deere GridCON (Kalociński, 2022), за основу для якого взято трактор John Deere 6210R. Цей електричний трактор оснащений електричним двигуном потужністю

100 кВт, який живиться електроенергією через електричний кабель (рис. 7).

Обговорення. Сільськогосподарські машини є важливим інструментом забезпечення економічної безпеки будь-якої країни і тому розвитку та удосконаленню конструкцій сільськогосподарських машин приділяється велика увага. Тенденція подальшої електрифікації та електронізації машин, використання альтернативних джерел енергії в різних галузях плавно переходять і до сільськогосподарської техніки. Очевидні переваги поєднання гідравлічного та електричного приводу, такі як економія енергозатрат та можливість рекуперації енергії, дедалі більше починають реалізуватись на практиці на мобільних машинах, адже сьогодні багато досліджень спрямовані на вдосконалення таких систем та адаптацію їх саме під особливості роботи конкретних механізмів. І питання впровадження їх в сільськогосподарських машинах це питання вже недалекого майбутнього.

Висновки. Аналіз існуючих способів вдосконалення систем гідроприводу шляхом поєднання його з електроприводом показує, що відбувається бурхливий розвиток досліджень в даному напрямку. Паралельно досліджуються гібридні, децентралізовані та централізовані електрогідравлічні системи, при цьому окремо приділяється велика увага розвитку джерел електричної енергії та способам її рекуперації. Більш перспективним вважається розвиток зональних та гібридних електрогідравлічних систем, як таких, що дають можливість уникнути втрат енергії в гідроапаратах гідроприводів, а також мають більше можливостей щодо рекуперації енергії. Сільськогосподарські машини відносяться до спеціальних позашляхових машин зі своїми специфічними умовами роботи. Більшість останніх наукових розробок пов'я-

заних з електрогідравлічним приводом відносяться до тракторів загального призначення та самохідних машин, де в основному досліджуються централізовані та децентралізовані гідроелектричні системи. Перспективи впровадження електрогідравлічних систем на причіпних сіль-

ськогосподарських машинах в основному залежать від рівня розвитку та впровадження таких систем на тракторах, які слугують джерелом енергії для таких систем. Хоча можливі варіанти розміщення джерел енергії безпосередньо на причіпних машинах.

Бібліографічні посилання:

1. Baek, S. Y., Baek, S. M., Jeon, H. H., Kim, W. S., Kim, Y. S., Sim, T. Y., ... & Kim, Y. J. (2022). Traction performance evaluation of the electric all-wheel-drive tractor. *Sensors*, 22(3), 785. <https://doi.org/10.3390/s22030785>
2. Burke, A., & Miller, M. (2011). The power capability of ultracapacitors and lithium batteries for electric and hybrid vehicle applications. *Journal of Power Sources*, 196(1), 514-522. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.06.092>
3. Campillo, J., Ghaviha, N., Zimmerman, N., & Dahlquist, E. (2015, March). Flow batteries use potential in heavy vehicles. In 2015 International conference on electrical systems for aircraft, railway, ship propulsion and road vehicles (ESARS) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ESARS.2015.7101496>
4. Exner, H. (1991). Basic principles and components of fluid technology. Mannesmann Rexroth.
5. Fassbender, D., Zakharov, V., & Minav, T. (2021). Utilization of electric prime movers in hydraulic heavy-duty-mobile-machine implement systems. *Automation in Construction*, 132, 103964. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103964>
6. Gonzalez-de-Soto, M., Emmi, L., Benavides, C., Garcia, I., & Gonzalez-de-Santos, P. (2016). Reducing air pollution with hybrid-powered robotic tractors for precision agriculture. *Biosystems Engineering*, 143, 79-94. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.01.008>
7. Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., & Zhang, X. (2018). Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1906-1916. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.001>
8. Inderelst, I. M., Prust, I. D., & Siegmund, M. (2020). Electro-hydraulic SWOT-analysis on electro-hydraulic drives in construction machinery. 12th International Fluid Power Conference (12. IFK). Dresden, October 12–14, 2020. <https://doi.org/10.25368/2020.8>
9. Ivantysynova, M. (2002, March). Displacement controlled actuator technology-future for fluid power in aircraft and other applications. In Proc. of the 3rd International Fluid Power Conference (3. IFK) (Vol. 2, pp. 425-440).
10. Kalociński, T. (2022). Modern trends in development of alternative powertrain systems for non-road machinery. *Combustion Engines*, 61(1). <https://doi.org/10.19206/CE-141358>
11. Ketelsen, S., Andersen, T. O., Ebbesen, M. K., & Schmidt, L. (2019, October). Mass estimation of self-contained linear electro-hydraulic actuators and evaluation of the influence on payload capacity of a knuckle boom crane. In Fluid Power Systems Technology (Vol. 59339, p. V001T01A045). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/FPMC2019-1689>
12. Ketelsen, S., Padovani, D., Andersen, T. O., Ebbesen, M. K., & Schmidt, L. (2019). Classification and review of pump-controlled differential cylinder drives. *Energies*, 12(7), 1293. <https://doi.org/10.3390/en12071293>
13. Lajunen, A., Sainio, P., Laurila, L., Pippuri-Mäkeläinen, J., & Tammi, K. (2018). Overview of powertrain electrification and future scenarios for non-road mobile machinery. *Energies*, 11(5), 1184. <https://doi.org/10.3390/en11051184>
14. Lajunen, A., & Suomela, J. (2012). Evaluation of energy storage system requirements for hybrid mining loaders. *IEEE transactions on vehicular technology*, 61(8), 3387-3393. <https://doi.org/10.1109/TVT.2012.2208485>
15. Li, P. Y., Siefert, J., & Bigelow, D. (2019, October). A hybrid hydraulic-electric architecture (HHEA) for high power off-road mobile machines. In Fluid Power Systems Technology (Vol. 59339, p. V001T01A011). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/FPMC2019-1628>
16. Li, T., Liu, H., Zhao, D., & Wang, L. (2016). Design and analysis of a fuel cell supercapacitor hybrid construction vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(28), 12307-12319. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.040>
17. Lodewyckx, I. J., & Zurbrugg, D. I. P. (2016). Decentralized energy-saving hydraulic concepts for mobile working machines. 10th International Fluid Power Conference (10. IFK) March 8 – 10, 2016, Vol. 2, pp. 79-90.
18. Love, L. J., Lanke, E., & Alles, P. (2012). Estimating the impact (energy, emissions and economics) of the US fluid power industry. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. <https://doi.org/10.2172/1061537>
19. Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of power sources*, 226, 272-288. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.060>
20. Michel, S., & Weber, J. (2017, October). Investigation of self-contamination of electrohydraulic compact drives. In Proceedings of the 10th JFPS International Symposium on Fluid Power, Fukuoka, Japan (pp. 24-27).
21. Moreda, G. P., Muñoz-García, M. A., & Barreiro, P. J. E. C. (2016). High voltage electrification of tractor and agricultural machinery—A review. *Energy Conversion and Management*, 115, 117-131. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.018>
22. Padovani, D., Rundo, M., & Altare, G. (2020). The working hydraulics of valve-controlled mobile machines: Classification and review. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 142(7), 070801. <https://doi.org/10.1115/1.4046334>
23. Peitsmeyer D. (2020) High-efficiency hydraulics for electrically powered machines. *Fluid Power World*. p. 44-48. https://issuu.com/wtwhmedia/docs/fpw_october_2020
24. Pietrzyk, T., Roth, D. J., Schmitz, K., & Jacobs, G. (2018). Design study of a high-speed power unit for electro hydraulic actuators (EHA) in mobile applications (pp. 233-245). Universitätsbibliothek der RWTH Aachen. <https://doi.org/10.18154/RWTH-2018-224632>
25. Qu, S., Vacca, A., Fassbender, D., Busquets, E., & Rexroth, B. (2020, October). Formulation, Design and Experimental Verification of an Open Circuit Electro-Hydraulic Actuator. In Proceedings of the 2020 IEEE Global Fluid Power Society PhD

Symposium (GFPS), Online (pp. 19-21). URL https://www.researchgate.net/publication/344773454_Formulation_Design_and_Experimental_Verification_of_an_Open_Circuit_Electro-Hydraulic_Actuator.

26. Qu, S., Zappaterra, F., Vacca, A., Liu, Z., & Busquets, E. (2022). Design and Verification of An Open-Circuit Electro-Hydraulic Actuator System with An Integrated Electro-Hydraulic Unit. In Proceedings of the 13th International Fluid Power Conference (13. IFK), Aachen, Germany, 13–15 June 2022.

27. Quan, Z., Ge, L., Wei, Z., Li, Y. W., & Quan, L. (2021). A survey of powertrain technologies for energy-efficient heavy-duty machinery. Proceedings of the IEEE, 109(3), 279-308. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2021.3051555>

28. Ristic, M., & Wahler, M. (2018). Electrification of hydraulics opens new ways for intelligent energy-optimized systems. Universitätsbibliothek der RWTH Aachen.

29. Sharpe, B. (2019). Zero-emission tractor-trailers in Canada. Retrieved from the International Council on Clean Transportation website: <https://theicct.org/publications/zero-emissiontractor-trailers-canada>.

30. Vacca, A. (2018). Energy efficiency and controllability of fluid power systems. Energies, 11(5), 1169. <https://doi.org/10.3390/en11051169>

31. Zhang, W., Wang, J., Du, S., Ma, H., Zhao, W., & Li, H. (2019). Energy management strategies for hybrid construction machinery: Evolution, classification, comparison and future trends. Energies, 12(10), 2024. <https://doi.org/10.3390/en12102024>

32. Zhang, S., Minav, T., & Pietola, M. (2017, December). Decentralized hydraulics for micro excavator. In Proceedings of 15: th Scandinavian International Conference on Fluid Power, June 7-9, 2017, Linköping, Sweden (No. 144, pp. 187-195). Linköping University Electronic Press. <https://doi.org/10.3384/ecp17144187>

Kravchenko V. V., PhD, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Voitik A. V., PhD, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Pushka O. S., PhD, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Kutkovetska T. O., PhD, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Prospects of combination of hydraulic and electric drives in mobile agricultural machines

Modern hydraulic drive systems have a relatively low energy efficiency, which is only about 21-22%, this is facilitated by the use of a large number of control throttle valves and energy loss directly in hydraulic lines and hydraulic devices. One of the ways to reduce energy losses in hydraulic systems of mobile machines is the combination of hydraulic and electric drives. An additional advantage of such a combination is also the possibility of recovering electrical energy, which increases the energy efficiency of such machines.

Increasing the efficiency of machines by abandoning the centralized hydraulic drive system with valve control of the fluid flow and switching to the zonal hydraulic drive with electric pump flow control is contained in many scientific works, which note the high energy efficiency of decentralized hydraulic drive systems (up to 75% compared to traditional systems).

The degree of saturation of agricultural machines with a hydraulic drive varies, depending on the functional purpose of these machines, their innovative improvements and cost. The combination of electric and hydraulic drives in these machines can be considered in several directions: electric control of hydraulic equipment and flow control with the help of electric motors that can change the speed of rotation of the drive shaft of the hydraulic pump. The use of an electric drive to drive hydraulic elements can be used in the following variants: a hybrid concept, when the drive elements of an electric drive are introduced into the general scheme of the hydraulic drive; the concept of a general hydraulic drive, when one electric motor and a hydraulic pump are used to operate the entire hydraulic system of the machine; the concept of zonal hydraulic drive, when a separate electric motor paired with a hydraulic pump is installed on each actuator.

The analysis of existing ways of improving hydraulic drive systems by combining it with an electric drive shows that the development of zonal and hybrid electro-hydraulic systems is considered more promising. Majority of the latest scientific developments with the electro-hydraulic drive relate to general-purpose tractors and self-propelled machines, which contain researches of centralized and decentralized electro-hydraulic systems.

Key words: agricultural machines, hydraulic drive, electric drive, electro-hydraulic systems.

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИТРАТИ В ПРОЦЕСІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИ ЗБЕРІГАННІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Кузьмич Іван Михайлович

аспірант

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

ORCID: 0000-0003-1718-6123

beliy1994@meta.ua

Автором в статті представлено результати обґрунтування основного показника надійності зернозбиральних комбайнів – безвідмовності, що впливає на показники ефективного їх машиновикористання, виходили з умов виконання технологічного процесу в агротехнічні терміни з урахуванням мінімізації всіх витрат, пов'язаних із експлуатацією зернозбиральних комбайнів.

Наведено методичні передумови розробки економіко-математичної моделі, обґрунтовано критерій оцінки ефективності зернозбиральних комбайнів, розроблено модель та надано оцінку впливу вибору окремих зернозбиральних комбайнів на ефективність роботи комбайнового парку сільськогосподарського підприємства в цілому. Для оцінки ефективності зернозбиральних комбайнів за економіко-математичною моделлю приймаємо мінімум питомих сумарних витрат, як критерій, що найбільш об'єктивно відображає всі складові витрат, пов'язаних з експлуатацією зернозбиральних комбайнів. Завдання вирішується у два етапи: проводиться оцінка ефективності окремих зернозбирального комбайну за марками з урахуванням основних показників їхньої надійності та інших показників; оцінюється ефективність комбайнового парку господарства при його комплектуванні комбайнами різних моделей.

У роботі показано, що виконання технологічних процесів збирання зернових у агротехнічні терміни значною мірою залежить від простоїв машин через відмови з технічних причин, що визначають рівень надійності зернозбиральних комбайнів. З іншого боку, знаючи рівень надійності машин, можна налагодити оптимальну роботу сервісних служб і не допустити порушення виконання технологічних робіт в агротехнічні терміни.

В статті представлено результати обґрунтування економіко-математичної моделі, яка враховує та дозволяє оцінити ефективність зернозбиральних комбайнів за обґрунтованим критерієм – сумарними питомими витратами на один гектар збиральної площі, або одну тонну намолоченого зерна, з урахуванням напрацювання на відмову та на підставі цього робити висновки про ефективність зернозбиральних комбайнів.

Ключові слова: безвідмовність, витрати, збереженість, ефективність, комбайн.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.8>

Постановка проблеми. Становище, що склалося за останній період з інженерно-технічним забезпеченням сільських товаровиробників (Rogovskii, 2020), стало стримуючим фактором у вирішенні основних завдань програми розвитку сільського господарства та продовольства (Nazarenko et al., 2020). Так, за роки війни з росією різко зменшився парк машин та обладнання у сільгосппідприємствах внаслідок недостатнього оновлення техніки (Rogovskii et al., 2022). Наприклад, парк зернозбиральних комбайнів країни скоротився з 2020 року до 2022 року на 8%. Внаслідок цього навантаження на одиницю техніки сільгосптоваровиробників збільшилося в 1,5–2,8 рази. Зауважимо, що середнє навантаження на зернозбиральний комбайн у США становить лише 63 га (Pinzi et al., 2016), а в Україні воно досягає 312 га (Rogovskii et al., 2021c).

Усереднений показник надходження нової техніки до агропромислового комплексу у останні ковідні роки становить 0,9–2,7% її наявності (Novotny, 2016), а спадання – 4,3–8,2% (Rogovskii et al., 2021e), тобто. вибуття випереджає надходження у 2,3–5 разів. При цьому терміни фактичної експлуатації машин та обладнання перевищують нормативні у 2–3 рази та перевищують нормативний у 70% зернозбиральних комбайнів (Kuzmich et al., 2021). Все це в сукупності призводить до порушень

виконання технологічних процесів (Masek et al., 2017), зниження обсягів виробництва сільськогосподарської продукції, зростання її собівартості (Rogovskii, 2019) та зниження конкурентоспроможності вітчизняної продукції сільського господарства (Sergejeva et al., 2018). Одним із шляхів виходу із становища є перехід до застосування більш надійної збиральної техніки. Але така техніка відрізняється як показниками надійності, так і вартістю (Palamarchuk et al., 2021).

Так, напрацювання на відмову імпортних зернозбиральних комбайнів складає 100 і більше годин, а вітчизняні – лише 57 годин, але дешевші (Rogovskii et al., 2019). Відсутність щодо низки позицій конкурентоспроможної техніки вітчизняного виробництва, а також дефіцит кваліфікованих кадрів комбайнерів потребує найбільших і економічно сильних господарств купувати більш дорогі, але надійні зернозбиральні комбайни (Luo et al., 2013). Тому при придбанні нових зернозбиральних комбайнів сільськогосподарські підприємства стоять перед вибором найекономічніших, але ефективних за показниками надійності комбайнів з метою подальшого комплектування та поновлення їх парку (Forgó et al., 2021). Існуючі методи вибору жнив не враховують показники надійності. Відсутні і дані про ефективність зернозбиральних комбайнів з урахуванням показників надійності та стосовно

умов територій України. У зв'язку з цим актуальним стають розв'язки задачі, спрямовані на оцінку ефективності зернозбиральних комбайнів з урахуванням їхньої надійності через безвідмовність за інженерного менеджменту періоду зберігання, як один з її основних показників, а також інших показників комбайнів, що й визначає актуальність цієї роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Специфікою умов збирання зернових сільськогосподарських культур є порівняно великі розміри аграрних підприємств і велика розкиданість відділень агрохолдингів, ферм, бригад, короткий вегетаційний період, що обумовлює стислі терміни проведення збирання, затяжна весна, а в степових районах – посушливий весняно-літній період (Dubbini et al., 2017). Бездоріжжя, велика віддаленість господарств як один від одного, так і від районних центрів і спеціалізованих сервісних підприємств, відсутність необхідних запасних частин у потрібний момент дуже впливають на надійність зернозбиральних комбайнів і пред'являють підвищені вимоги до їх безвідмовності (Carter et al., 2015).

Відомо (Rogovskii et al., 2021d), що в середньому по країні в період збирання щорічно, незважаючи на нестачу машин, простоє до 16% зернозбиральних комбайнів. Комбайновий парк сильно зношений і продовжується його старіння (Astashev & Krupenin, 2017). Так, у 2022 році середній вік зернозбиральних комбайнів становив 15 років.

В 2020–2021 роках господарства почали купувати імпорту техніку з вторинного ринку. Однак слід враховувати, що умови експлуатації в Україні різко відрізняються від європейських країн.

Наведений аналіз наукових досліджень (Rogovskii et al., 2021a), спрямованих на дослідження надійності та ефективності зернозбиральних комбайнів, показав, що розроблені методики, базуючись на сучасних методах математичного моделювання (Viba & Lavendelis, 2006), не повністю відображають реальність різноманіття зв'язків у сфері їх експлуатації в сільськогосподарських підприємствах і не дають однозначної відповіді (Romanіuk et al., 2018), яку техніку краще набувати – нову чи із вторинного ринку. З економічних позицій – менш надійну, але відносно недорого – із вторинного ринку (Zagurskiy et al., 2018), або надійнішу та найдорожчу – нову (Drga et al., 2016).

У наведених методиках, як правило, обґрунтовуються або розглядаються окремі параметри зернозбиральних комбайнів та його складових частин чи збирального процесу без належного обліку їх взаємозв'язків з іншими параметрами та показниками, а також у них недостатньо повно враховані специфічні особливості зон (Liu et al., 2021).

Тому обґрунтування ефективності зернозбиральних комбайнів з урахуванням безвідмовності як одного з основних параметрів надійності для умов інженерного менеджменту у період зберігання вимагає додаткових наукових досліджень, що передбачають її взаємопов'язання та взаємозв'язок з надійністю комбайнів, є актуальним.

Метою досліджень є підвищення ефективності використання комплектованого парку зернозбиральних машин господарства за рахунок обліку основних показників надійності моделей комбайнів в умовах інженерного менеджменту періоду зберігання.

Результати досліджень. При визначенні безвідмовності як одного з показників надійності виходили з оптимального плану використання зернозбиральних комбайнів, їх надійності. Необхідна кількість машин (X) визначалася як:

$$X = F \cdot (W_z \cdot T_3 \cdot D_{opt} \cdot k_1 \cdot K_e)^{-1}, \quad (1)$$

де F – обсяг робіт, необхідний для виконання технологічного процесу, га;

W_z – середня годинна продуктивність зернозбирального комбайна, га/год;

T_3 – тривалість зміни, год;

D_{opt} – оптимальна тривалість виконання технологічного процесу, дні;

k_1 – коефіцієнт використання календарного часу за метеорологічними умовами;

K_e – коефіцієнт готовності зернозбирального комбайну за інженерного менеджменту у період зберігання.

Для оцінки ефективності зернозбиральних комбайнів за економіко-математичною моделлю приймаємо мінімум питомих сумарних витрат, як критерій, що найбільш об'єктивно відображає всі складові витрат, пов'язаних з експлуатацією комбайнів.

Завдання вирішується у два етапи:

– проводиться оцінка ефективності окремих зернозбирального комбайну за марками з урахуванням основних показників їхньої надійності та інших показників;

– оцінюється ефективність комбайнового парку господарства при його комплектуванні комбайнами різних моделей.

Для виконання першого етапу завдання – оцінки ефективності окремого зернозбирального комбайну за економіко-математичною моделлю як критерій оцінки його ефективності, як було зазначено раніше, приймаємо питоми сумарні витрати на збирання зернових (Z_p), які можна представити у вигляді:

$$Z_p = A + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де Z_p – питоми сумарні витрати на збирання 1 га врожаю, грн/га;

A – сума амортизаційних відрахувань ЗК, грн/га;

Z_1 – заробітна плата комбайнера та допоміжних робітників, грн/га;

Z_2 – витрати на паливно-мастильні матеріали, грн/га;

Z_3 – витрати на технічне обслуговування, ремонт та зберігання комбайна, грн/га;

Z_4 – вартість втрат урожаю комбайном, грн/га;

Z_5 – вартість біологічних втрат врожаю, що залежать від термінів збирання, грн/га;

Z_6 – вартість втрат урожаю з технічних причин (через простої комбайну), грн/га;

Z_7 – витрати на відрахування та податки, грн/га.

Особливістю цієї моделі (2) є те, що в ній враховуються втрати врожаю, які складаються: із втрат урожаю безпосередньо комбайном через його технічну недосконалість, з біологічних втрат урожаю, що залежать від сорту культури, що обробляється, та термінів збирання та втрат урожаю з технічних причин через простої комбайнів у зв'язку з виникненням відмов.

Зупинимось на визначенні втрат урожаю докладніше, оскільки визначення перших чотирьох складових у формулі (2) труднощів не викликає.

При проведенні виробничих випробувань нових комбайнів для них встановлюються нормативні втрати, які включають втрати за жнивваркою внаслідок негерметичності від недомолота та наявності вільного зерна в соломі під час очищення.

Вартість втрат (Z_4), для різних марок вітчизняних комбайнів подаємо у вигляді виразу:

$$Z_4 = Z_w \cdot C \cdot X_g, \quad (3)$$

де Z_w – середня біологічна врожайність, ц/га, C – ринкова закупівельна вартість зернового збіжжя, грн/ц, X_g – коефіцієнт втрат зерна за комбайном.

Вартість біологічних втрат врожаю (C_{Z_w}) визначаємо за такою формулою:

$$C_{Z_w} = k_b \cdot Z_{wmax} \cdot C \cdot X_p \cdot K_e \cdot (W_d)^{-1}, \quad (4)$$

де Z_{wmax} – максимальна врожайність у період повного дозрівання пшениці, ц/га;

k_b – коефіцієнт втрат за періодом повного дозрівання пшениці, %;

X_p – коефіцієнт біологічних втрат урожаю;

W_d – добова продуктивність комбайна, га/день.

Вартість втрат урожаю з технічних причин (Z_5) (через простої комбайнів) за період збирання T складе:

$$Z_5 = Z_{5i} \cdot T_p, \quad (5)$$

де Z_{5i} – вартість 1 год простою комбайна за період T , грн/год;

T_p – час простою комбайну у період T , год.

Оскільки тривалість простоїв з технічних причин (T_p) – величина випадкова, середній час простою комбайна через відмову можна представити у вигляді:

$$T_p = T \cdot \lambda \cdot (\lambda + \mu)^{-1} - \lambda \cdot (\lambda + \mu)^{-2} \cdot (1 - e^{-(\lambda + \mu) \cdot T}), \quad (6)$$

де λ – інтенсивність відмов зернозбирального комбайна за період збирання T , 1/год;

μ – інтенсивність відновлення зернозбирального комбайна за період прибирання T , 1/год.

Для визначення величини λ і μ необхідно знати напрацювання на відмову, середній час відновлення та фактори, що на них впливають.

У загальному випадку час відновлення є величиною випадковою і залежить від складності вузла, агрегату, деталі, наявності запасних частин, інструменту, організації процесу відновлення, що відмовив. Його можна визначити на підставі статистичного матеріалу за формулою:

$$\mu = n \cdot \left(\sum_{i=1}^n t_{vi} \right)^{-1}, \quad (7)$$

де t_{vi} – час відновлення працездатності комбайна після i -ї відмови, год;

n – кількість відмов у період прибирання.

Експериментальні дослідження показали, що закон розподілу часу відновлення близький до експоненціального, а ймовірність попиту на запасні частини розподіляється за Пуассонівським законом.

Напрацювання на відмову є основною величиною, що характеризує надійність машини, і визначається з виразу:

$$\lambda = n \cdot \left(\sum_{i=1}^n t_{si} \right)^{-1}, \quad (8)$$

де t_{si} – напрацювання комбайна до i -ї відмови, год.

Значення λ і μ є оберненими величинами напрацювання на відмову та часи відновлення. В остаточному вигляді вартість втрат урожаю з технічних причин визначається як:

$$Z_5 = Z_{5i} \cdot \left[T \cdot \lambda \cdot (\lambda + \mu)^{-1} - \lambda \cdot (\lambda + \mu)^{-2} \cdot (1 - e^{-(\lambda + \mu) \cdot T}) \right], \quad (9)$$

Підставивши значення складових витрат у формулу (2), для зернозбиральних комбайнів різних марок можна визначити питомі сумарні витрати на збирання 1 га або 1 т бункерної ваги і потім їх порівнянням визначити марки найбільш ефективних комбайнів.

Другий етап завдання виконувався в такий спосіб. Від рівня експлуатаційної надійності окремих комбайнів, як компонентів парку, залежить експлуатаційна надійність усього комбайнового парку сільськогосподарського підприємства, що безпосередньо впливає на строки збирання врожаю.

При цьому можливі такі ситуації:

– простої через технічно ненадійні комбайни призводять до затягування збирання та збільшення втрат урожаю;

– споживачі змушені утримувати більш численний парк машин, щоб компенсувати зниження темпів робіт (через відмови з технічних причин);

– споживачі у разі недостатньої кількості машин можуть залучити їх з боку (з сусідніх господарств, на основі оренди, прокату та інших форм тимчасового використання техніки).

Однак для споживача кращий варіант, коли парк комбайнів господарювання укомплектований раціональним способом. Тому при придбанні нових комбайнів постає завдання вибору найефективнішого комбайна та впливу його на показники роботи парку загалом. Для споживача такими показниками є період збирання та коефіцієнт готовності, що безпосередньо на нього впливає. Виходячи з умови виконання прибирання в агротехнічні терміни, з урахуванням коефіцієнта готовності комбайнового парку та ефективності окремих комбайнів, розглянуто наведені вище три ситуації з метою раціонального комплектування комбайнового парку господарства.

Програма експериментальних досліджень включала виконання наступних етапів:

- вибору місця проведення експериментальних досліджень та його характеристика;
- визначення кількості об'єктів спостережень;
- збору інформації про відмови зернозбиральних комбайнів та часу простоїв з технічних причин;
- обробки експериментальних даних;
- оцінки похибки економіко-економічної моделі ефективності зернозбиральних комбайнів;
- вибору зернозбиральних комбайнів під час комплектування парку господарства з урахуванням безвідмовності.

Під час проведення досліджень у роботі використовувалися методи теорії ймовірностей, теорія надійності, дисперсійний аналіз, статистичні методи збирання та обробки експериментальних даних.

При виборі місця проведення експериментальних досліджень прийнято до уваги такі умови: природно-кліматичні; чисельність зернозбиральних комбайнів за марками; класність механізаторів; сезонне напрацювання зернозбиральних комбайнів. Ці показники мають бути близькими до середньообласних. Виходячи з цих умов, обрано Черкаську область. Вона має необхідну матеріально-технічну базу та відповідає іншим пред'явленим вимогам для обґрунтування безвідмовності спостережуваних зернозбиральних комбайнів.

Для обґрунтування їхньої безвідмовності було обрано 84 комбайни. У структурі комбайнового парку Черкаської області комбайни цих марок становлять 97%. При виборі комбайнів для спостережень основними критеріями послужили їх вік та сталість роботи на них механізаторів. Ці показники також близькі до середньообласних. По кожному комбайну проводився збір вихідної інформації з розробленої картки спостережень. Обробка зібраної інформації проводилася методами математичної статистики. При цьому визначався середній наробіток на відмову та середній час усунення наслідків відмови за всіма однойменними деталями, вузлами та агрегатами зернозбиральних комбайнів. Кількість хронометражних спостережень за часом простоїв з технічних причин

визначено за умови отримання достовірних статистичних величин і складала 24. Для вимірювання сполучення деталей, вузлів і агрегатів, що відмовили, застосовувався універсальний вимірювальний інструмент і спеціальне обладнання мобільних агрегатів для проведення технічного обслуговування. Реалізацію економіко-математичної моделі проведено з використанням розроблених програмно-алгоритмічних та інформаційних засобів.

Розрахунки з оцінки ефективності комбайнів виконані серед електронної таблиці Microsoft Excel. Зважаючи на те, що загальна кількість усіх змінних, використовуваних у моделі, як вихідної інформації, при підрахунку її складових понад 30, вони об'єднані в такі змістовні блоки-форми: «Господарство», «Комбайн», «Константи».

У середовищі електронної таблиці для зручності оперування величинами, що змінюються (перемінними), по кожній компоненті формули введені спеціальні таблиці, які називаються в середовищі «Лист». За цими величинами визначалися сумарні питомі витрати щодо кожного зернозбирального комбайна, що входить до складу вибірки комбайнового парку певних господарств. Проведено оцінку похибки економіко-математичної моделі для визначення ефективності зернозбиральних комбайнів шляхом порівняння за двома вибірками значень питомих сумарних витрат, отриманих за моделлю та фактичних (експериментальних).

У таблиці 1 наведено дані щодо розподілу відмов (у кількісному та в %-му виразі) по основним агрегатам та вузлам зернозбиральних комбайнів, що перебували під наглядом.

Напрацювання на відмову з зернозбиральних комбайнів наведено в таблиці 2. При цьому середній час відновлення комбайнів при виникненні відмов становив 3,6 год.

Як видно, зернозбиральні комбайни з вторинного ринку за надійністю значно поступаються новим. На рис. 1–3 наведено залежність періоду збирання, часу простоїв з технічних причин та надійності комбайнового парку від кількості зернозбиральних комбайнів у господарстві.

Таблиця 1

Розподіл відмов по основним вузлам та агрегатам зернозбиральних комбайнів (шт., %)

| Агрегати, вузли | Розподіл відмов зернозбиральних комбайнів за класами, % | | | | | | |
|---|---|---------|---------|---------|---------|--------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| Жнивarka, похила камера | 16/15,8 | 41/47,7 | 25 / 50 | 31/29,5 | 5/10,9 | 8/36,4 | 0 |
| Молотилка, подрібнювач | 44/43,6 | 23/26,7 | 15/30 | 11/10,5 | 10/21,7 | 5/22,7 | 3/60 |
| Двигун | 24/23,8 | 3/3,5 | 4/8 | 15/14,3 | 9/19,6 | 1/4,5 | 0 |
| Трансмісія та ходова частина | 7/6,9 | 0 | 0 | 12/11,4 | 2/4,3 | | 0 |
| Гідросистема, електрогідропривід, електрообладнання | 10/9,9 | 19/22,1 | 6/12 | 36/34,3 | 20/43,5 | 8/36,4 | 2/40 |

Таблиця 2

Напрацювання на відмову зернозбиральних комбайнів, год.

| | Зернозбиральний комбайн за класами | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| Напрацювання на відмову, год. | 30 | 50 | 100 | 120 | 210 | 220 | 250 |

Залежності одержано за формулою (1) для господарства, що має загальний обсяг робіт 10 000 га, агротехнічний термін проведення збирання – 14 днів, тривалість робочого дня – 18 годин. З рис. 1 випливає, що в агротехнічні терміни прибирання буде виконано за наявності 24 комбайнів у господарстві, а за більшої кількості комбайнів буде проведено у ще більш стислий термін.

З рис. 2 видно, що збирання буде проведено в агротехнічні терміни 24 комбайнами з простоями, що не перевищують 1,24 год, 25 комбайнами з простоями, що не перевищують 1,9 год.

Рис. 3 слід трактувати так, що для виконання збирання в агротехнічні терміни коефіцієнт готовності комбайнового парку при 24 шт. не повинен бути нижчим за 0,92, при 25 шт. – не нижче 0,88. При 29 комбайнах – не нижче 0,76.

Отримано графіки залежності питомих сумарних витрат за кожною маркою комбайнів від їх основних показників та характеристик: напрацювання на відмову

та часи відновлення, що характеризують їх надійність з позиції безвідмовності та ремонтпридатності, а також інших показників, що впливають на їх ефективність: балансової вартості комбайнів, терміну експлуатації, ціни реалізації продукції, врожайності культури та тривалості збирання.

Залежно, наведені на рис. 1–4, отримані за економіко-математичною моделлю при змінних тільки по осі абсцис і постійних значеннях інших змінних. При розрахунках для конкретного господарства природно всі значення будуть приведені стосовно того господарства.

Використовуючи інформацію, наведену цих графіках, господарства мають можливість формувати раціональний парк зернозбиральних комбайнів з урахуванням своєї специфіки.

Похибка економіко-математичної моделі, визначена шляхом порівняння розбіжностей між сукупностями двох вибірок питомих сумарних витрат, одержаних розрахунковим методом та експериментально становила 10,95%.

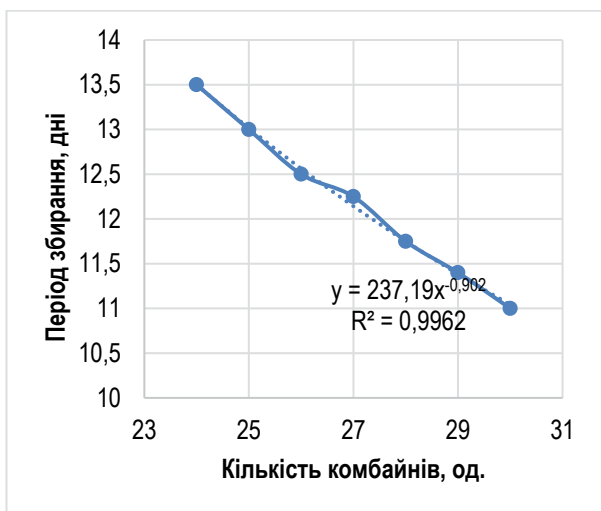


Рис. 1. Залежність періоду збирання кількості зернозбиральних комбайнів

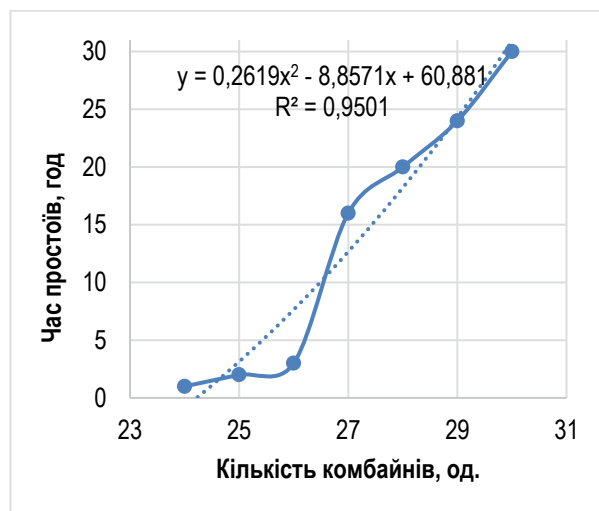


Рис. 2. Залежність часу простоїв з технічних причин від кількості зернозбиральних комбайнів

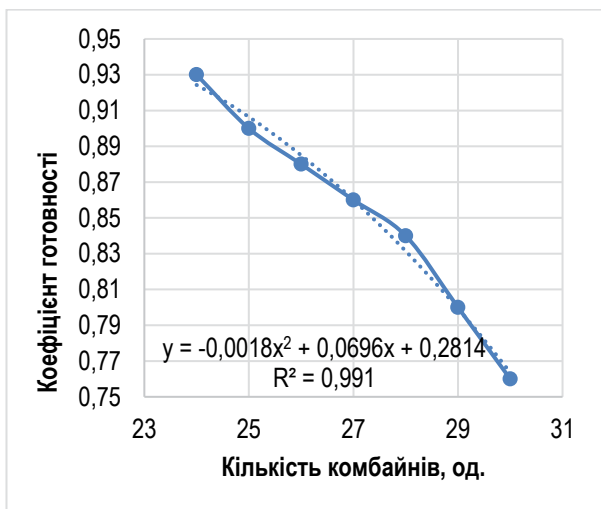


Рис. 3. Залежність коефіцієнту готовності від кількості зернозбиральних комбайнів

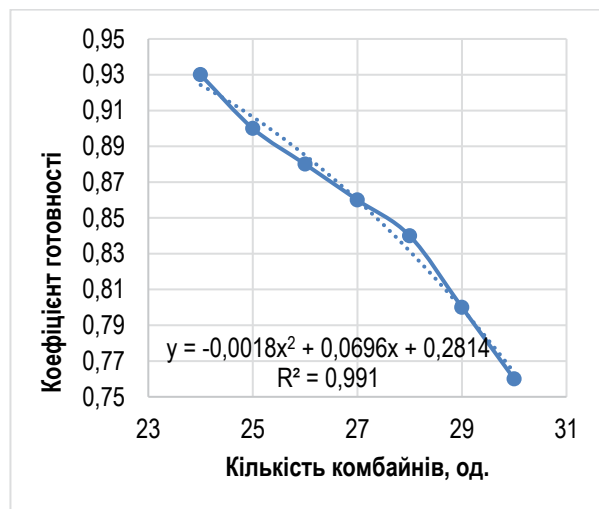


Рис. 4. Залежність коефіцієнту готовності від кількості зернозбиральних комбайнів

Обговорення. Виявлено, що основним показником надійності зернозбиральних комбайнів є безвідмовність, від якої залежить їхня ефективність (Nazarenko et al., 2021). З проведеного аналізу досліджень випливає, що скорочення парку зернозбиральних комбайнів призводить до збільшення навантаження на одиницю техніки в 1,5–2,8 раза та призводить до випередження списання порівняно з надходженням у 2,3–5 разів (Rogovskii et al., 2021b). Перевищення фактичних термінів експлуатації машин над нормативними та значний фактичний термін служби та знос позначаються на ефективності зернозбиральних комбайнів, що застосовуються (Hrynkiv et al., 2020). Підвищення їхньої ефективності можна забезпечити підвищенням безвідмовності агрегатів та вузлів та комбайнів загалом. При надлишку комбайнів прибирання може бути проведене в агротехнічні терміни навіть за зниженого коефіцієнта їхньої готовності. Так, при надлишку кількості комбайнів на 25% прибирання може бути проведене навіть за зниження коефіцієнта готовності на 23,1%, а при недоукомплектуванні комбайнового парку на 25%, його

коефіцієнт готовності має бути підвищений на 28,9%, проти його нормативним значенням, тобто. потрібно або підвищувати надійність комбайна (напрацювання на відмову) або доукомплектувати комбайновий парк господарства (Yata et al., 2018). В іншому випадку прибирання затягуватиметься.

Висновки. Встановлено, що при комплектуванні комбайнового парку новими комбайнами перед господарством постає завдання вибору найефективнішого комбайна та вплив його на показники роботи парку загалом. Для споживача такими показниками є період (тривалість) прибирання та надійність комбайна, що визначається через напрацювання на відмову та впливає безпосередньо на коефіцієнт готовності парку. При оптимальній кількості комбайнів для господарства, що дорівнює 24, середній час простоїв (з технічних причин) становив 3,6 год, а при надлишку комбайнів більше 24, можуть бути допущені простої комбайнів за технічними характеристиками. Напрацювання на відмову складо: за вітчизняними комбайнами 10–50 годин порівняно зі 100–250 у імпортих.

Бібліографічні посилання:

1. Astashev, V. & Krupenin, V. (2017). Efficiency of vibration machines. *Engineering for Rural Development*, 16: 108–113. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108133>.
2. Carter, J., Petersenn, R. & Cochran, B. (2015). Designing exhaust systems to minimize energy costs. *Ashrae Journal*, 47(7): 18–22.
3. Drga, R., Janacova, D. & Charvatova, H. (2016). Simulation of the PIR detector active function. *Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016)*, July 14–17, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboouf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, 76: UNSP 04036.
4. Dubbini, M., Pezzuolo, A., De Giglio, M., Gattelli, M., Curzio, L., Covi, D., Yezekyan, T. & Marinello, F. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*, 19: 158–163.
5. Forgó, Z., Tolvaly-Ros, ca F., Pásztor, J. & Kovari, A. (2021). Energy consumption evaluation of active tillage machines using dynamic modelling. *Application Science*, 11: 6240. <https://doi.org/10.3390/app11146240>.
6. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
7. Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Nadtochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 052002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.
8. Liu, Z., Cao, S. & Sun, Z. (2021). Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 11: 4611. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84191-z>.
9. Luo, A. C. J. & Guo, Y. (2013). *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag: 213.
10. Masek, J., Novak, P. & Jasinskas, A. (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. *Engineering for Rural Development*, 16: 1180–1185. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118135>.
11. Nazarenko, I., Dedov, O., Bernyk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
12. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
13. Novotny, J. (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. *Engineering for Rural Development*, 15: 16–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.239292>.
14. Palamarchuk, I., Rogovskii, I., Titova, L. & Omelyanov, O. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. *Engineering for Rural Development*, 20: 1761–1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>.
15. Pinzi, S., Cubero-Atienza, A. J. & Dorado, M. P. (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. *Journal of Sound and Vibration*, 266(3): 407–441.
16. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021a). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>.

17. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021b). Modeling of normativity of criteria of technical level of forage harvesters combines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 720: 012109. [https://doi.org/ 10.1088/1755-1315/720/1/012109](https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012109).
18. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021c). Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677: 022100. [https://doi.org/ 10.1088/1755-1315/677/2/022100](https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022100).
19. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
20. Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Berezova, L. V. (2021d). Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 723: 032032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032>.
21. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadochiy, O. V. (2021e). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
22. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskyi, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. Engineering for Rural Development, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
23. Rogovskii, I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine, 11(3): 143–150.
24. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
25. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
26. Sergejeva, N., Aboltins, A., Strupule, L. & Aboltina, B. (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Engineering for Rural Development, 17: 1166–1172. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N451>.
27. Viba, J. & Lavendelis, E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia: 95–98.
28. Yata, V. K., Tiwari, B. C. & Ahmad, I. (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, 16: 79–84.
29. Zagurskiy, O., Ohienko, M., Rogach, S., Pokusa, T., Titova, L. & Rogovskii, I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland: 64–74.

Kuzmich I. M., Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Operating costs in process of maintenance by storing grain harvesting combiners

In the article, the author presents the results of substantiation of the main indicator of the reliability of combine harvesters – failure-free operation, which affects the indicators of their effective machine use, based on the conditions of the technological process in agrotechnical terms, taking into account the minimization of all costs associated with the operation of combine harvesters.

Methodical prerequisites for the development of an economic-mathematical model are presented, the criteria for evaluating the efficiency of grain harvesters are substantiated, the model is developed and the influence of the choice of individual grain harvesters on the efficiency of the harvester park of the agricultural enterprise as a whole is given. To evaluate the efficiency of grain harvesters according to the economic-mathematical model, we accept the minimum specific total costs as a criterion that most objectively reflects all components of costs associated with the operation of grain harvesters. The task is solved in two stages: an evaluation of the efficiency of individual grain harvesters by brands is carried out, taking into account the main indicators of their reliability and other indicators; the efficiency of the farm's harvester park is evaluated when it is equipped with harvesters of various models.

The work shows that the implementation of technological processes of grain harvesting in agrotechnical terms largely depends on machine downtimes due to failures due to technical reasons, which determine the level of reliability of grain harvesters. On the other hand, knowing the level of machine reliability, it is possible to establish the optimal operation of service services and prevent violations of the execution of technological works in agrotechnical terms. The article presents the results of the substantiation of the economic-mathematical model, which takes into account and allows evaluating the efficiency of grain harvesters according to a well-founded criterion – the total specific costs per one hectare of harvesting area, or one ton of threshed grain, taking into account the working time for rejection and drawing conclusions based on this on the effectiveness of grain harvesters.

Key words: reliability, costs, preservation, efficiency, combine.

РІВЕНЬ ВИКОНАННЯ ПОВНОТИ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ НА БЕЗВІДМОВНІСТЬ САМОХІДНИХ ОБПРИСКУВАЧІВ

Любченко Ірина Сергіївна

аспірантка

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

ORCID: 0000-0001-5259-1760

lub4enko.ira@gmail.com

Авторкою в статті проведено змістовний аналіз процесів технічного контролю самохідних обприскувачів, на основі якого сформульовано вихідні передумови та обґрунтовано вимоги до системи інформаційного забезпечення технічного контролю самохідних обприскувачів. Розроблено інформаційну модель системи технічного контролю самохідних обприскувачів, що є формалізованим описом об'єктів і процесів технічного контролю самохідних обприскувачів у агрофермі з урахуванням їх ієрархічної структури. З її використанням визначено основні блоки та взаємозв'язки між її блоками.

Сформована система технічного контролю самохідних обприскувачів складається з блоків. Система технічного контролю самохідних обприскувачів розглядається з позиції, що відображає реальне виконання операцій технічного контролю самохідних обприскувачів у рамках відомих нормативно-технічних вимог. У зв'язку з цим визначається рівнем її функціонування, що розглядається. Як такий рівень виділено певну територіальну освіту як найбільш загальний випадок, а потім подано можливі шляхи переходу до окремих випадків. Кожен блок відрізняється рівнями деталізації залежно від цілісності та змісту інформаційного матеріалу та специфіки предметної області, розроблений як автономний, але може бути використаний як компонент у складі інших інформаційних систем. Для використання основних блоків система технічного контролю самохідних обприскувачів та їх компонентів сформовано файлоу структуру інформаційної бази.

Розроблений блок операції технічного контролю складається з інформаційних компонентів, що докладно характеризують повний набір операцій у кількості 115 з технічного контролю самохідних обприскувачів у вигляді єдиного технологічного процесу, включаючи обладнання, прилади та інструменти, що використовуються при обслуговуванні. Технологічні процеси розглядаються у розрізі кожної марки самохідного обприскувача. Блок обладнання та оснащення містить інформацію про 30 компонентів. У блоці інструменти та прилади кількість опісаних об'єктів 58. Блок паливно-мастильні та витратні матеріали містить інформацію про 14 компонентів. Загальний обсяг інформації системи технічного контролю самохідних обприскувачів становить 58 МБ.

Ключові слова: імітаційна модель, коефіцієнт готовності, самохідний обприскувач, технічний контроль.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.9>

Постановка проблеми. Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується значним зниженням рівня оснащеності галузі самохідними засобами механізації (Li, 2020) і, зокрема, самохідними обприскувачами (Rogovskii & Titova, 2021c). Час простоїв самохідних обприскувачів з технічних причин становить 47-53% від загального робочого часу (Meng, 2020), у результаті подовжуються терміни виконання польових робіт (Rogovskii et al., 2019), збільшуються втрати сільськогосподарської продукції (Korenko et al., 2015), знижуються показники ефективності аграрного виробництва (Savickas, 2020). Одним із шляхів скорочення таких простоїв є підтримка наявного парку самохідних обприскувачів у працездатному стані (Toro et al., 2021).

Працездатність та технічний стан самохідних обприскувачів багато в чому визначається якістю виконання операцій технічного контролю (Rogovskii & Titova, 2021b). За їх виконання використовуються широке коло досить складних технічних засобів (Nazarenko et al., 2020), численні інструменти та різноманітні матеріали (Rogovskii et al., 2021b), а самі операції характеризуються високою складністю та інформаційною насиченістю (Lee et al., 2016). Все це вимагає від виконавців великого обсягу

знань та оперування динамічно змінюваною та об'ємною інформацією (Findura et al., 2019).

Об'єктивно назріла потреба перейти від обміну сировою інформацією до електронної індустрії знань, як основу для подальшого розвитку (Rogovskii, 2019).

Однак у сфері технічного контролю самохідних обприскувачів використання інформаційних ресурсів дотепер розглядалося лише фрагментарно та недостатньо повно (Hrynkiv et al., 2020). Тому ця стаття, спрямована на подальше вдосконалення прийомів виконання операцій технічного контролю самохідних обприскувачів на основі застосування системи інформаційного забезпечення, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах недостатньої оснащеності АПК сільськогосподарською технікою та старіючого його машинно-тракторного парку забезпечення його працездатності за рахунок виконання операцій технічного контролю самохідних обприскувачів відповідно до встановлених вимог є найважливішим завданням інженерної служби галузі (Hanna & Jarboe, 2021). Організувати технічний контроль самохідних обприскувачів (Rogovskii & Titova, 2021a), як передбачалося розвитком ринкової економіки аграрному секторі, не вдалося (Prístavka & Bujna, 2013).

Система технічного контролю самохідних обприскувачів складається з сукупності коштів (Craessaerts et al., 2020), документації щодо організації та виконання операцій та виконавців. Основними компонентами інформації є «Посібник з експлуатації», «Технологічні карти технічного контролю» та інша технічна документація та керівні матеріали (Rogovskii et al., 2021a). Витрати часу під час проведення технічного контролю самохідних обприскувачів для отримання завдання на інструктаж (Zagurskiy et al., 2018) та ознайомлення з технічною документацією становить 25% від загального часу (Rogovskii, 2020).

Однак (Žitňák et al., 2015), різноманіття та складність операцій технічного контролю самохідних обприскувачів (Nazarenko et al., 2021), методів локалізації несправностей машин, операцій з усунення їх наслідків, опис яких представлений у різних технологічних картах, інструкціях, схемах, плакатах (Singh et al., 2012).

Розробки зі спрощення технологічної інформації та забезпечення робочого місця майстра-наладчика наочної та зручної довідково-технологічної документації, технологічний графік з проведення технічного контролю самохідних обприскувачів, лінійка-довідник свідчать про пошук у процесах шляхів, спрямованих на покращення інформаційного забезпечення під час їх виконання (Viba et al., 2006).

Незважаючи на наявні розробки в інженерно-технічній системі (Žitňák et al., 2014), нині немає спеціалізованих інформаційних систем з інформаційного забезпечення (Beneš et al., 2015), покликаних задовольняти в комплексі інформацією потреби інженерних працівників інженерної служби з технічного контролю самохідних обприскувачів, що пов'язано з відсутністю науково-методичних засад створення таких систем (Romaniuk et al., 2018).

Метою досліджень є підвищення ефективності виконання операцій технічного контролю самохідних обприскувачів на основі розроблення комплексу засобів інформаційного забезпечення.

Результати досліджень. На першому етапі здійснено змістовний аналіз технічного контролю самохідних обприскувачів, на основі якого обґрунтовано та сформульовано такі вихідні передумови до розробки системи та інформаційного забезпечення технічного контролю самохідних обприскувачів:

1. Підвищення ступеня доступності наявних розробок із проведення технічного контролю самохідних обприскувачів.

2. Систематизація знань та інформації, пов'язаних із технічним контролем самохідних обприскувачів, інтеграції всіх необхідних компонентів знань у єдину систему.

3. Наявність можливості регулярного коригування інформаційних компонентів технічного контролю самохідних обприскувачів; багаторівневе представлення матеріалів із описом операцій.

4. Взаємопов'язка виконання операцій з технічного контролю самохідних обприскувачів залежно від результатів машиновикористання та показників безвідмовності.

5. Реалізація програмно-алгоритмічних засобів та інформаційних компонентів у прогнозуванні залишкових

ресурсів основних вузлів та агрегатів самохідних обприскувачів.

6. Облік під час технічного контролю самохідних обприскувачів та автоматизована фіксація індивідуальних параметрів технічного стану.

7. Облік оснащення пункту технічного контролю самохідних обприскувачів господарства чи сервісного підприємства технічними засобами під час проведення операцій.

8. Забезпечення пункту технічного контролю самохідних обприскувачів господарства чи сервісного підприємства нормативно-технічною інформацією.

9. Актуалізація відомостей про підприємства, що є ресурсами щодо операцій технічного контролю самохідних обприскувачів.

10. Забезпечення легкості оперування інформацією, що є у системі технічного контролю самохідних обприскувачів.

На основі узагальнення викладеного встановлено, що технічний контроль самохідних обприскувачів має відповідати таким вимогам:

1. Базування на використанні сучасних інформаційних технологій.

2. Структуризація, систематизація та інтеграція всіх необхідних компонентів нормативно-технічної документації та знань з технічного контролю самохідних обприскувачів.

3. Здійснення багаторівневого представлення технологій технічного контролю самохідних обприскувачів.

4. Розробка програмно-алгоритмічних та інформаційних засобів для прогнозування залишкового ресурсу вузлів та агрегатів трактора та розрахунку параметрів, що контролюються.

5. Облік хронології технічного контролю самохідних обприскувачів та видача оперативних зведень контролю.

6. Можливість оперативного та регулярного поповнення компонентів системи уточненою чи новою документацією та знаннями.

7. Можливість маневрування за системою з використанням перехресних посилань.

Для цілісного та формалізованого опису процесів технічного контролю самохідних обприскувачів розроблено інформаційну модель, що дозволяє визначити загальну структуру.

Система технічного контролю самохідних обприскувачів розглядається з позиції, що відображає реальне виконання операцій технічного контролю самохідних обприскувачів у рамках відомих нормативно-технічних вимог. У зв'язку з цим склад і структура інформаційної моделі системи технічного контролю самохідних обприскувачів багато в чому визначається рівнем її функціонування, що розглядається. Як такий рівень виділено певну територіальну освіту як найбільш загальний випадок, а потім подано можливі шляхи переходу до окремих випадків.

Спочатку інформаційну модель системи технічного контролю самохідних обприскувачів представляють як сукупність наступних двох основних об'єктів, які безпосередньо беруть участь у процесі технічного контролю самохідних обприскувачів:

$$TI_S = \{I_a; R_e\}, \quad (1)$$

де TI_S – інформаційна модель системи технічного контролю самохідних обприскувачів; I_a – сервісне підприємство (організація), стосовно якого розглядається СТОН; R_e – сукупність (безліч) господарств, самохідних обприскувачів яких контролюється даним сервісним підприємством.

Для випадків обліку в моделі безлічі всіх обслуговуваних господарств агрофірми (EI_a), сервісних підприємств агрофірми (EI_b), безліч усіх наявних пунктів технічного контролю (EI_c) інформаційна модель TI_{SD} і натомість (1) запишеться у такому загальному вигляді:

$$TI_{SD} = \{EI_a; EI_b; EI_c\}, \quad (2)$$

Вираз (2) ми розглядаємо як базовий варіант інформаційної моделі системи технічного контролю самохідних обприскувачів, що дозволяє вирішувати низку питань щодо організації технічного контролю у агрофірмі.

З метою розкриття структур інформаційних компонентів системи технічного контролю самохідних обприскувачів (2) враховується таке:

1. При проведенні операцій технічного контролю прийнято оперувати технологічними картами, в яких наводяться правила виконання операцій, а також необхідні обладнання, пристрої, слюсарно-монтажний інструмент, контрольовано-вимірювальні прилади, витратні матеріали з нормативами їх потреби.

2. Для зручності оперування технологічної карти групуються за видами технічного контролю самохідних обприскувачів, що визначаються умовами машиновикористання.

Крім операцій технічного контролю самохідних обприскувачів, під час машиновикористання найчастіше виконуються певні розрахункові операції. Наприклад, до них належить розрахунок залишкового ресурсу самохідних обприскувачів за параметрами його технічного стану, встановленими в результаті безвідмовності. Звідси впливає необхідність введення інформаційну модель такого параметра, як реєстр розрахункових завдань (RI_{11}).

На основі обліку описаних компонентів на додаток до (2) другий, розширений варіант інформаційної моделі записаний у вигляді:

$$TI_{SD} = \left\{ \begin{array}{l} EI_a; EI_b; EI_c; RI_1; RI_2; RI_3; \\ RI_4; RI_5; RI_6; RI_7; RI_8; RI_9; RI_{10}; RI_{11} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

де RI_1 – реєстр марок самохідних обприскувачів, що контролюються; RI_2 – комплекти альбомів технологічних карток технічного контролю (по кожній марці самохідних обприскувачів – свій альбом); RI_3 – реєстри (відомості) необхідного обладнання; RI_4 – реєстри необхідних пристроїв; RI_5 – реєстри слюсарно-монтажних інструментів; RI_6 – реєстри контрольовано-вимірювальних приладів; RI_7 – реєстри витратних матеріалів та RI_8 – нормативи їх витрат; RI_9 – нормативи витрат часу виконання операцій технічного контролю самохідних обприскувачів; RI_{10} – кваліфікаційний склад виконавців робіт.

Для розробки програмно-алгоритмічних та інформаційних засобів прогнозування залишкового ресурсу, як базового взято відомий номограмний варіант прогнозування параметрів вузлів та агрегатів самохідних обприскувачів при відомому напрацюванні його від початку експлуатації.

Напрацювання самохідних обприскувачів t_p від початку експлуатації до досягнення аналізованим параметром допустимого значення X_p визначається як:

$$t_p = \left(\frac{\Delta X}{v_c} + X_d \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (4)$$

де α – показник ступеня, що враховує характер зміни параметра від напрацювання; v_c – швидкість зміни параметра; ΔX – різниця між величинами X_p та X_d (значення параметра гранична та під час технічного контролю) при контролі параметра, який може бути використаний самохідним обприскувачем від моменту технічного контролю X_d до моменту X_p .

При цьому враховуються також закономірності зміни кожного параметра відповідно через коефіцієнти кривизни α .

Висновок за результатами розрахунку залишкового ресурсу за параметром формується з урахуванням його порівняння з періодичністю технічного контролю самохідних обприскувачів. Розроблено також інформаційну базу, як складові якої виступають модулі інформації у вигляді наступних таблиць: «Звід самохідних обприскувачів, що контролюються», «Відомості про технічний контроль самохідних обприскувачів», «Довідник параметрів стану агрегатів і вузлів самохідних обприскувачів», «Дані щодо стану самохідних обприскувачів, що контролюються», «Висновки за результатами технічного контролю».

З урахуванням викладеного система технічного контролю самохідних обприскувачів, що контролюються сформовано на основі наступних інформаційних блоків:

1. Типові пункти технічного контролю самохідних обприскувачів із докладним описом їх характеристик.

2. Операції технічного контролю самохідних обприскувачів моделей, що розглядаються, відповідно до наявної системи технічного контролю, з описом прийомів виконання самих операцій та з вимогами до їх виконання.

3. Обладнання та оснащення. Їх пристрій, технічні характеристики та правила використання під час операцій технічного контролю самохідних обприскувачів.

4. Інструменти та прилади. Їх характеристики та особливості застосування.

5. Паливно-мастильні та витратні матеріали. Їх характеристики та особливості використання у процесі технічного контролю самохідних обприскувачів.

6. Норми витрати матеріалів та ресурсів, необхідні виконання операцій технічного контролю самохідних обприскувачів.

7. Опис конструкцій вузлів і агрегатів самохідних обприскувачів, що контролюються.

8. Хронологія стану самохідних обприскувачів, що контролюються, в моменти їх надходження на технічний контроль.

9. Прогнозування залишкового ресурсу основних вузлів та агрегатів трактора.

10. Відомості про постачальників обладнання та оснащення, витратних матеріалів, сервісних послуг.

Загальна структура розробленої інформаційної системи представлена на рис. 1.

Сполучною є головний блок. Кожен блок, що входить до системи, може бути використаний окремо.

Інформаційні компоненти поділяються на ті, які застосовні в умовах будь-якого господарства, і на такі, які характерні тільки для конкретного господарства.

Для вирішення поставлених завдань програма досліджень передбачає:

1. Підготувати інформаційні матеріали та здійснити формування блоків стосовно технічного контролю самохідних обприскувачів.

2. Систематизувати операції технічного контролю самохідних обприскувачів.

3. Розробити форму записів хронології даних щодо контролю технічного стану самохідних обприскувачів та особливостей його технічного контролю.

4. Підготувати та сформувати інформаційно-довідкові матеріали для прогнозування залишкового ресурсу дизеля самохідних обприскувачів.

5. Розробити програмно-алгоритмічні та інформаційні засоби для прогнозування залишкового ресурсу основних вузлів та агрегатів самохідних обприскувачів.

6. Сформувати оперативну інформацію стосовно умов певного господарства.

7. Провести дослідну експлуатацію системи технічного контролю самохідних обприскувачів у виробничих умовах.

Методика формування блоків з технічного контролю самохідних обприскувачів заснована на прийомах інтеграції та систематизації інформаційних компонентів і складається з кількох етапів:

1. Зведення електронних текстів.

2. Структуризація набору електронних текстів.

3. Створення гіпертекстової інформаційної системи.

4. Створення системи інформаційного забезпечення технічного контролю.

В основу формування компонентів системи технічного контролю самохідних обприскувачів та організації взаємозв'язків між ними покладено гіпертекстову технологію, що отримала визнання рядом провідних учених країни.

Основні блоки системи технічного контролю самохідних обприскувачів, залежно від складу структурних складових, поділені на групи. Перша складається із сукупності однотипних автономних складових, а друга – характеризується певною монолітністю, цілісністю.

За схемою набору однотипних складових формується інформаційний зміст таких блоків, як «Пункти технічного контролю», «Обладнання та оснащення», «Інструменти та прилади», «Паливно-мастильні та витратні матеріали», «Норми витрати та витрат ресурсів», «Підприємства ресурсного забезпечення».

Блок «Обслуговуються самохідні обприскувачі» характеризується деякою монолітністю, цілісністю інформаційного матеріалу та формується як єдиних складових.

Методичні прийоми та процеси, що забезпечують коректну роботу зазначених блоків, включають такі процедури:

1. Збір, формування інформації з різних публікацій та обробка зібраної інформації.

2. Компонування повного набору рисунків та специфікацій приладів, пристроїв, об'єктів.

3. Розшифровка аббревіатур.

4. Коригування термінології з метою зведення її до єдиної.

5. Забезпечення можливості отримання необхідної інформації під час проведення технічного контролю будь-якому етапі виконання.



Рис. 1. Структура системи інформаційного забезпечення технічного контролю самохідних обприскувачів

6. Виключення дублюючих операцій та об'єднання однакових прийомів їх виконання.

7. Забезпечення повноти описів операцій технічного контролю самохідних обприскувачів.

8. Компонування в таблиці переліку операцій за видами технічного контролю за марками самохідних обприскувачів, що розглядаються.

9. Конкретизація контрольованих даних стосовно аналізованих моделей самохідних обприскувачів.

10. Конкретизація виконання операцій стосовно аналізованих моделей самохідних обприскувачів.

11. Формування зворотного зв'язку – після отримання необхідної інформації забезпечувати повернення на початок або поточну точку системи.

Основну увагу приділено багаторівневному представленню інформації у блоках.

Для прикладу візьмемо формування блоку «Операції технічного контролю». Вихідними були: види технічного контролю; операції, передбачені з технічного контролю; вимоги до виконання операцій; технологічні карти з технічного контролю; порядок (послідовність) виконання операцій.

Передбачено маневрування за інформацією блоку за схемою: вид технічного контролю; операції технічного контролю; технологічні карти з технічного контролю. Створено взаємозв'язок з блоками інформаційної системи «Інструменти та прилади», «Обладнання та оснащення», «Паливно-мастильні та витратні матеріали», «Обслуговувані самохідні обприскувачі».

Для формування інформаційних засобів та зручності організації обчислювальних робіт у блоці «Прогнозування залишкового ресурсу» по кожній марці самохідних обприскувачів заводиться окремий файл, прийнятий в електронній таблиці називати «книгою». Далі за схемою алгоритму виконуються операції з оцінки залишкового ресурсу самохідного обприскувача та його параметрів, що враховуються, у певній послідовності.

Як програмне середовище при розробці системи інформаційного забезпечення технічного контролю самохідних обприскувачів вибрано інструментарії, наявні в пакеті MS Office, які застосовуються в наступних версіях.

Інформація блоків «Пункти технічного контролю», «Обладнання та оснащення», «Інструменти та прилади», «Обладнання та оснащення» представлена на трьох рівнях. Як перший рівень виступає перелік груп об'єктів, другого – найменування об'єктів, третього – опис самих об'єктів. Блоки «Паливно-мастильні та витратні матеріали» та «Норми витрати та витрат ресурсів» представлені на двох рівнях.

Блок «Інструменти та прилади» містить докладний опис та технічні характеристики приладів та інструментів, передбачених для використання для операцій з тех-

нічного контролю самохідних обприскувачів відповідно до наявних посібників. Інформаційна структура блоку представлена на рис. 2.

Перший рівень інформації представлений у вигляді найменувань за групами. Другий рівень – перелік усіх приладів та інструментів за групами. По кожній групі наводиться список марок або моделей з відповідними кодами. Перехід до перегляду інформації приладу або інструменту, що цікавить, здійснюється за допомогою коду і гіперпосилання. Третій рівень це його зображення з необхідними перерізами і розрізами, найменування всіх складових його частин. Тут же наводиться опис принципу роботи та докладна інструкція щодо його застосування, а також технічна характеристика компонента. Загальна кількість описаних компонентів – 58. Аналогічно сформовані всі вищезазначені блоки.

Блок «Обслуговує самохідні обприскувачі» на комп'ютері складається з 10 підблоків (файлів) із загальним обсягом 28,7 МБ. Файл «Блок самохідні обприскувачі, що контролюються» виступає в якості головного. На початку цього файлу представлено перелік основних систем, вузлів та обладнання самохідних обприскувачів. Кожна компонента з переліку представлена як ієрархічно сформованих частин. Так, другий рівень компоненти «Двигун» складається з 9 складових. Сюди входять кривошипно-шатунний механізм, газорозподільний механізм, мастильна система. Третій рівень – докладна інформація щодо компоненту. Інформаційна структура блоку з переходами як гіперпосилань надана на рис. 3.

Блок «Операції технічного контролю» складається з інформаційних компонентів, які докладно характеризують повний набір операцій, передбачених з технічного контролю наявних самохідних обприскувачів, включаючи вимоги до виконання операцій та порядок їх виконання. У цьому блоці надаються всі операції як єдиного технологічного процесу. Багаторівнева інформаційна структура блоку представлена на рис. 4.

Перший рівень цього блоку – загальний інформаційний. Тут використані загальноприйняті умовні позначення видів контролю.

Другий рівень складається з переліку операцій технічного контролю, що формується у вигляді таблиць за перерахованими вище видами контролю (компоненти першого рівня), у розрізі марок самохідних обприскувачів, що розглядаються. Загальна кількість операцій обслуговування 115.

Третій рівень містить операції та технічні вимоги до їх виконання. Тут же зазначаються номери технологічних карт з технічного контролю.

Четвертий рівень містить технологічні карти технічного контролю, у яких докладно описується послідовність виконання операцій.

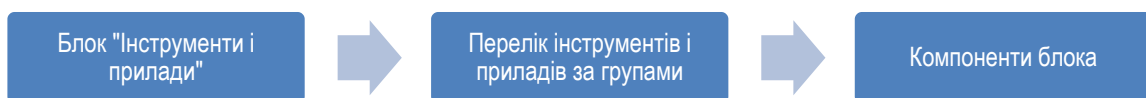


Рис. 2. Інформаційна структура блоку «Інструменти та прилади»

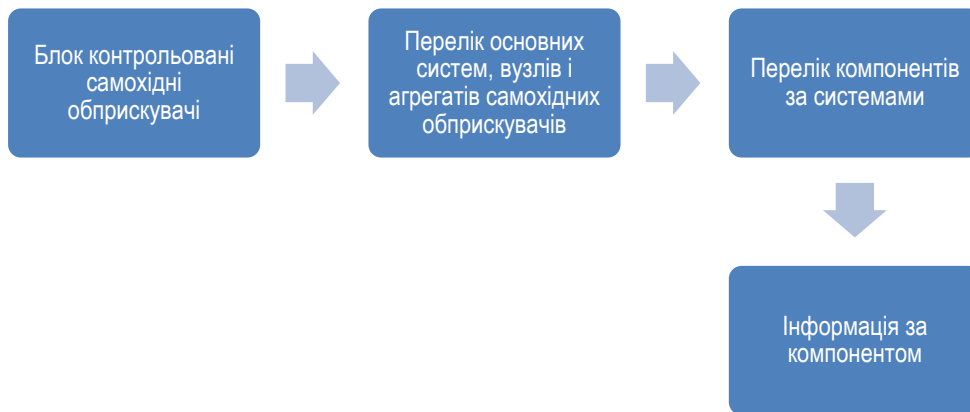


Рис. 3. Інформаційна структура блоку «Контрольовані самохідні обприскувачі»

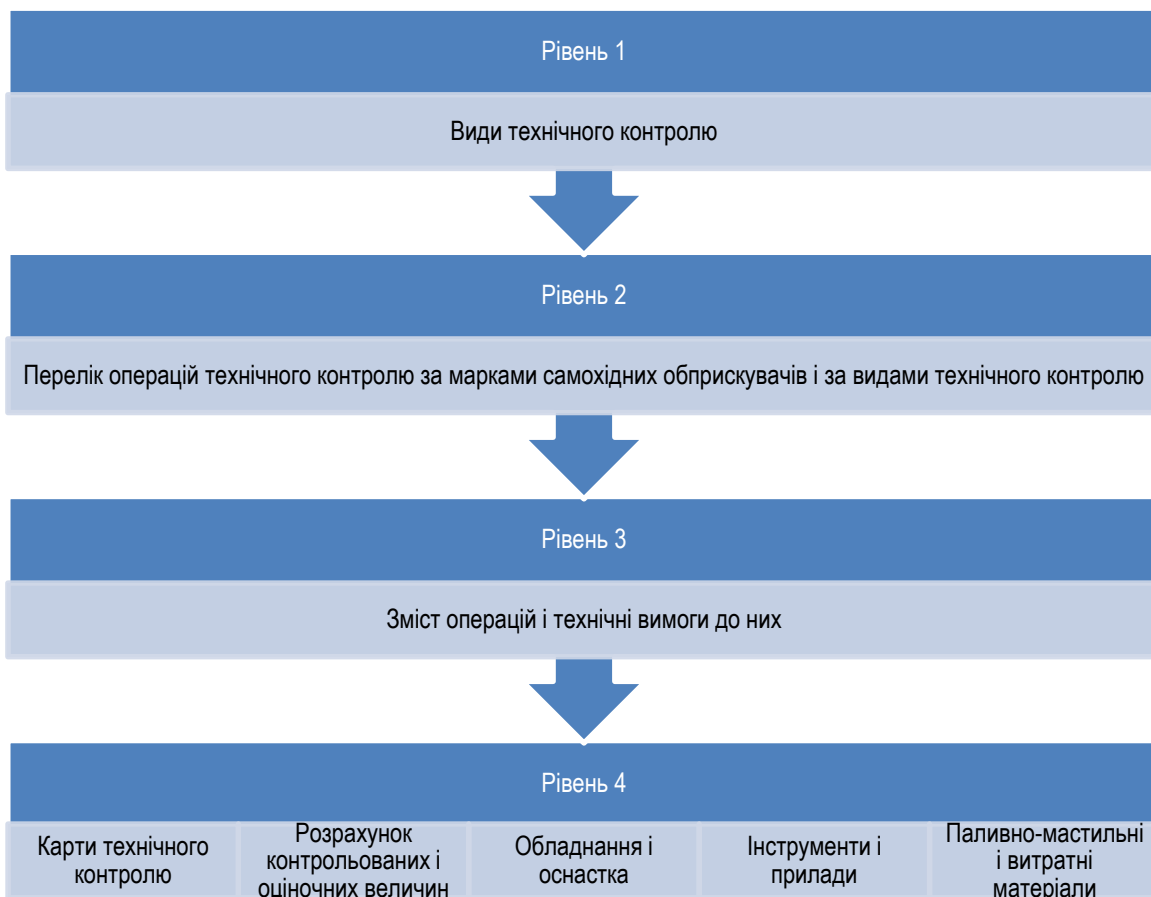


Рис. 4. Інформаційна структура блоку «Операції технічного контролю»

У технологічних картах представляється також неявний рівень, призначений реалізації підрахунків певних величин, зазвичай виконуваних вручну. У тих місцях технологічної карти, де наводяться відповідні формули для підрахунку контрольованих чи оціночних величин, передбачаються гіперпосилання – переходи до спеціально розроблених таблиць. Вони містять алгоритмічні засоби підрахунку величин та необхідні вихідні дані для цього.

Блок «Прогнозування залишкового ресурсу» представлений у вигляді програмно-алгоритмічних та

інформаційних засобів, що дозволяють замінити процедуру використання номограм комп'ютерними засобами у середовищі електронної таблиці. Для вирішення завдань використовується нормативно-довідкова інформація, оперативна інформація та програмно-алгоритмічні засоби.

Основою є форма «Звід самохідних обприскувачів що враховуються». За допомогою гіперпосилань колонки «Перехід до книг самохідних обприскувачів» здійснюється перехід до книг, в яких містяться дані по

самохідних обприскувачів, що враховуються, з групуванням їх за марками.

При необхідності у форму можна додати інші моделі самохідних обприскувачів, модифікуючи відповідно інформаційну базу, або видалити з неї певні моделі. У цьому вся проявляється універсальність розроблених коштів. Інформаційна структура розв'язання задачі щодо оцінки залишкового ресурсу параметрів самохідних обприскувачів представлена на рис. 5.

Дії користувача прості і зводяться до наступного:

- завдання дати обслуговування, марки, номера самохідних обприскувачів та його напрацювання;
- роздрукування форми з даними для запису результатів технічного контролю;
- введення результатів технічного контролю самохідних обприскувачів;
- отримання та роздрукування висновків за результатами прогнозування.

На кожний самохідний обприскувач заводиться «карта», у якій зафіксовано його стан на момент надходження технічного контролю. Така інформація може бути використана при аналізі причин виникнення несправностей самохідних обприскувачів, а також з метою уточнення змісту робіт з їхнього технічного контролю.

Перевірка працездатності системи технічного контролю самохідних обприскувачів в умовах господарства показала, що вона в цілому виконує всі основні функції, передбачені при її розробці.

Залежно від виду технічного контролю, увійшовши в систему, фахівець отримує інформацію з операцій технічного контролю та їх послідовності, обладнання, інструменту, приладів. На її основі виконує технічний контроль з наступним занесенням до «карти» самохідних обприскувачів відомостей про технічний контроль.

Далі виконується процедура оцінки залишкового ресурсу вузлів чи агрегатів дизеля самохідних обприскувачів.

Використання інформації на робочих місцях дозволило впорядкувати технологічний процес технічного контролю самохідних обприскувачів, уникнути пропуску окремих операцій та дотримуватись технічних вимог до виконання операцій, що є запорукою підтримки самохідних обприскувачів у постійній готовності до виконання робіт.

Технологічний процес технічного контролю самохідних обприскувачів із застосуванням системи представлений у вигляді блок-схеми на рис. 6.

Обговорення. Робота в інформаційній системі доступна для розуміння фахівцем некомп'ютерної галузі і може бути успішно використана для інженерного менеджменту процесів технічного контролю самохідних обприскувачів (Prístavka et al., 2013). Застосування системи дозволяє заощадити часу на 14,3 години на самохідний обприскувач за рахунок скорочення часу пошуку необхідної інформації (Palamarchuk et al., 2021), проведення підготовчих операцій та встановлення діагнозу по залишковому ресурсу, що знизить трудомісткість операцій обслуговування в 1,2 рази (Rogovskii et al., 2022).

Висновки. Розроблено та реалізовано в середовищі електронної таблиці програмно-алгоритмічні та інформаційні засоби автоматизованого вирішення завдань прогнозування залишкового ресурсу та оцінки ряду параметрів технічного стану самохідних обприскувачів (тільки по дизелю їх число дорівнює 8). Вони включають аналітичні співвідношення щодо прогнозування параметрів технічного стану на основі поточних даних технічного контролю, форми подання довідкових, оперативних і вихідних даних, а також прийоми їх автоматизованого формування в комп'ютері з використанням електронної



Рис. 5. Інформаційна структура задачі

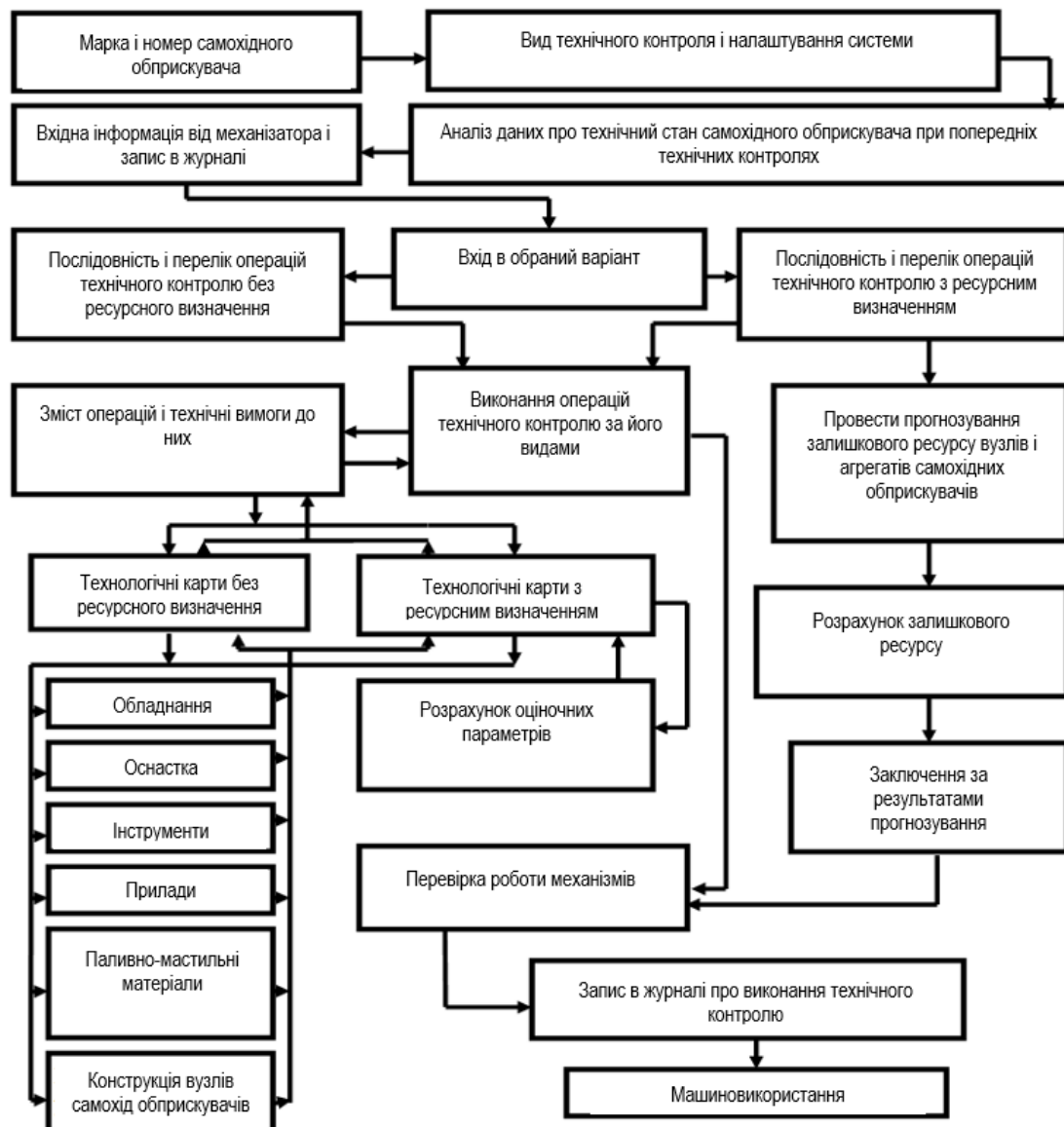


Рис. 6. Блок-схема використання системи у технологічному процесі технічного контролю самохідних обприскувачів

таблиці. Економічна ефективність застосування системи складається від зниження трудових та вартісних показників. Скорочення часу пошуку необхідної інформації

становитиме 14,3 години на самохідний обприскувач на рік, а трудомісткість операцій обслуговування зменшиться в 1,2 рази.

Бібліографічні посилання:

1. Beneš, L., Novák, P., Mašek, J. & Petrášek, S. (2015). John Deere self-propelled sprayers fuel consumption and operation costs. *Engineering for Rural Development*, 15: 13–17.
2. Craessaerts, G., De Baerdemaeker, J. & Saeys, W. (2020). Fault diagnostic systems for agricultural machinery. *Biosystems Engineering*, 106(1): 26–36.
3. Findura, P., Turan, J., Jobbágy, J., Angelovič, M. & Ponjican, O. (2019). Evaluation of work quality of the green peas self-propelled sprayers. *Research in agricultural engineering*, 59: 56–60.
4. Hanna, H. M. & Jarboe, D. H. (2021). Effects of full, abbreviated, and no clean-outs on commingled grain during self-propelled sprayers. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(5): 687–695.
5. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
6. Korenko, M., Bujna, M., Földešiová, D., Dostál, P. & Kyselica, P. (2015). Risk analysis at work in manufacturing organization. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 63: 1493–1497.

7. Lee, D. H., Kim, Y. J., Choi, C. H., Chung, S. O., Nam, Y. S. & So, J. H. (2016). Evaluation of operator visibility in three different cabins type Far-East self-propelled sprayers. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(4): 33–44.
8. Li, P. (2020). Design and experimental study of broadband hybrid energy self-propelled sprayers with frequency-up conversion and nonlinear magnetic force. *Micro- and Nanosystems Information Storage and Processing Systems*, 5. <https://doi.org/10.1007/s00542-019-04716-5>.
9. Meng, A. (2020). Modeling and experiments on Galfenol energy self-propelled sprayers. *Acta Mechanica Sinica*. <https://doi.org/10.1007/s10409-020-00943-6>.
10. Nazarenko, I., Dedov, O., Bernyk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
11. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
12. Palamarchuk, I., Rogovskii, I., Titova, L. & Omelyanov, O. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. *Engineering for Rural Development*, 20: 1761–1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>.
13. Prístavka, M. & Bujna, M. (2013). Use of statistical methods in quality control. *Acta Technologica Agriculturae. SUA in Nitra*, 13: 33–36.
14. Prístavka, M., Bujna, M. & Korenko, M. (2013). Reliability monitoring of self-propelled sprayers in operating conditions. *Journal of Central European Agriculture*, 14: 1436–1443.
15. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021a). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>.
16. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021b). Modeling of normativity of criteria of technical level of forage harvesters combines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012109>.
17. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021c). Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 022100. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022100>.
18. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
19. Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Berezova, L. V. (2021a). Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723: 032032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032>.
20. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadtochiy, O. V. (2021b). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
21. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskiy, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
22. Rogovskii, I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 11(3): 143–150.
23. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
24. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
25. Savickas, D. (2020). Self-propelled sprayers fuel consumption and air pollution reduction. *Water, Air & Soil Pollution*. 231: 95. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4466-5>.
26. Singh, M., Verma, A. & Sharma, A. (2012). Precision in grain yield monitoring technologies: a review. *AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*, 43(4): 50–59.
27. Toro, A., Gunnarsson, C., Lundin, G. & Jonsson, N. (2021). Cereal harvesting – strategies and costs under variable weather conditions. *Biosystems Engineering*, 111(4): 429–439.
28. Viba, J. & Lavendelis, E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. *Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME*, 22 April 2006. Tallinn, Estonia: 95–98.
29. Zagurskiy, O., Ohienko, M., Rogach, S., Pokusa, T., Titova, L. & Rogovskii, I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. *Monograph*. Opole. Poland: 64–74.
30. Žitňák, M., Kollárová, K., Macák, M., Prístavková, M. & Bošanský, M. (2015). Assessment of risks in the field of safety, quality and environment in post-harvest line. *Research in Agricultural Engineering*, 61: 26–36.
31. Žitňák, M., Macák, M. & Korenko, M. (2014). Assessment of risks in implementing automated satellite navigation systems. *Research in Agricultural Engineering*, 60: 16–24.

Liubchenko I. S., Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Performance level of complete technical control for failure of self-propelled sprayers

In the article, the author conducted a meaningful analysis of the processes of technical control of self-propelled sprayers, on the basis of which the initial prerequisites were formulated and the requirements for the information support system of technical control of self-propelled sprayers were substantiated. An information model of the system of technical control of self-propelled sprayers has been developed, which is a formalized description of objects and processes of technical control of self-propelled sprayers in an agricultural company, taking into account their hierarchical structure. With its use, the main blocks and relationships between its blocks are defined.

The formed system of technical control of self-propelled sprayers consists of blocks. The formed system of technical control of self-propelled sprayers consists of blocks. The system of technical control of self-propelled sprayers is considered from the position that reflects the actual implementation of technical control operations of self-propelled sprayers within the framework of known regulatory and technical requirements. In this regard, the composition and structure of the information model of the system of technical control of self-propelled sprayers is largely determined by the level of its functioning under consideration. As this level, a certain territorial education is highlighted as the most general case, and then possible ways of transition to individual cases are presented. Each block differs in levels of detail depending on the integrity and content of the information material and the specifics of the subject area, designed as an autonomous unit, but can be used as a component in other information systems. The file structure of the information base was created for the use of the main blocks of the system of technical control of self-propelled sprayers and their components. Each block differs in levels of detail depending on the integrity and content of the information material and the specifics of the subject area, designed as an autonomous unit, but can be used as a component in other information systems. The file structure of the information base has been created for the use of the main blocks of the system of technical control of self-propelled sprayers and their components.

The developed block of technical control operations consists of information components that describe in detail a complete set of operations in the amount of 115 from the technical control of self-propelled sprayers in the form of a single technological process, including equipment, devices and tools used in maintenance. Technological processes are considered in terms of each brand of self-propelled sprayer. The equipment and equipment block contains information about 30 components. In the tools and devices block, the number of described objects is 58. The fuel, lubricants and consumables block contains information on 14 components. The total amount of information of the system of technical control of self-propelled sprayers is 58 MB.

Key words: *simulation model, readiness factor, self-propelled sprayer, technical control.*

МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ МАШИНОВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ МЕРЕЖЕЮ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Ничай Ігор Миколайович

аспірант

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

ORCID: 0000-0003-3720-5061

nu4aj@ukr.net

Автором в статті представлено результати обґрунтування основного показника зниження технічної оснащеності аграрного виробництва та надійності функціонування техніки за якої зростає проблема ефективності експлуатації зернозбиральних комбайнів. Відсутність методів оптимізації термінів ремонту та служби зернозбиральних комбайнів з урахуванням різноманіття мінливих факторів не забезпечують достатньої надійності їх використання.

Стан зернозбиральних комбайнів у процесі його використання за призначенням під впливом умов функціонування безперервно змінюється. Умови функціонування зернозбиральних комбайнів визначаються: номенклатурою сільськогосподарських робіт на плановий період, природно-кліматичними умовами та умовами технічної експлуатації зернозбиральних комбайнів. Розроблений метод визначення рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів як комплексного безрозмірного показника умов функціонування дозволяє оцінити стан експлуатації зернозбиральних комбайнів в конкретному господарстві. Рівень експлуатації зернозбиральних комбайнів характеризується переліком узагальнених та визначальних факторів, що відображають умови технічної експлуатації, диференціацію сільськогосподарських робіт по зернозбиральним комбайнам на плановий період та мають вагомості, величини яких залежать від ступеня впливу природно-кліматичних умов, умов виконання груп робіт та операцій з технічної експлуатації на витрату ресурсу агрегатів техніки. Встановлено, що рівень експлуатації техніки визначається шістьма узагальненими факторами: диференціація механізованих робіт зернозбиральних комбайнів, якість проведення технічного обслуговування та діагностування, якість обкатки нового та відремонтованого зернозбирального комбайна, організація та якість ремонту, зберігання, заправка та якість паливно-мастильних матеріалів, характеристика комбайнера та 24 визначальними факторами. Певні довірчі інтервали, найбільш віддалені від середнього рівня узагальненого фактора точці з довірою ймовірністю 0,9, не перевищують 6%, що знаходиться в допустимих межах. Розроблено програму для розрахунку вагомості визначальних, узагальнених факторів та рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Ключові слова: безвідмовність, витрати, готовність, ефективність, комбайн.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.11>

Постановка проблеми. Природно-кліматичні умови, сезонність у виконанні механізованих робіт, значна вартість машинно-тракторного агрегату, дефіцит механізаторських кадрів, зниження технічної оснащеності зі скороченням обсягів виробництва АПК пред'являють особливі вимоги до ефективності експлуатації зернозбиральних комбайнів (Palamarchuk et al., 2021).

Тому правомірним стає дослідження, створені задля технічного переозброєння господарств (Nazarenko et al., 2021), а й підвищення ефективності використання зернозбиральних комбайнів з урахуванням природно-кліматичних умов, характеру виконання груп робіт і зажадав від ступеня виконання операцій із технічної експлуатації (Luo & Guo, 2013).

Експлуатаційна надійність зернозбиральних комбайнів, що визначає його основні техніко-економічні показники при виконанні сільськогосподарських операцій, залежать від умов їх функціонування (Kuzmich et al., 2021).

Умови функціонування техніки характеризуються номенклатурою сільськогосподарських робіт на плановий період, природно-кліматичними умовами, умовами технічної експлуатації та визначаються комплексним параметром – рівнем експлуатації зернозбиральних комбайнів (Forgó et al., 2021). Залежно від рівня експлуатації змінюватимуться показники використання зернозби-

ральних комбайнів (Rogovskii et al., 2019). У зв'язку з цим експлуатації техніки повинно проводитися в найбільш сприятливих умовах (Yata et al., 2018). Тому дослідження цих питань становить великий теоретичний та практичний інтерес.

Дослідниками мало вивчений питання розробки ефективних експлуатаційних заходів для реалізації потенційних можливостей техніки (Rogovskii et al., 2021b), виявлення та використання резервів заощадження трудових і матеріальних ресурсів під час проведення ремонтно-обслуговуючих робіт, дозволяють значною мірою знизити рівень витрат за утримання машинно-тракторного парку (Pinzi et al., 2016). Також застосування існуючої системи ремонтно-обслуговуючих впливів не забезпечують надійність функціонування виробничих процесів рослинництва через відсутність методів оптимізації міжремонтних напрацювань зернозбиральних комбайнів з урахуванням різноманіття мінливих факторів (Masek et al., 2017).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз робіт показав, що самохідні сільськогосподарські машини у господарствах використовуються не так на належному рівні та спостерігається тенденція подальшого зниження ефективності їх використання (Liu et al., 2021).

Стан зернозбиральних комбайнів в процесі його використання за призначенням та під впливом технічних, експлуатаційних факторів та факторів навколишнього середовища безперервно змінюється (Nazarenko et al., 2020). Зміна стану зернозбиральних комбайнів безпосередньо впливає на ефективність та надійність експлуатації техніки та відбивається на його техніко-економічних та експлуатаційних показниках (Rogovskii, 2019).

Підвищення ефективності та надійності експлуатації зернозбиральних комбайнів пов'язане із забезпеченням працездатності техніки протягом терміну служби та потребує визначення сукупності факторів впливу динамічних навантажень при виконанні технологічної операції (Viba & Lavendelis, 2006), технічної експлуатації (Rogovskii, 2020), ремонтно-обслуговуючих впливів, матеріально-технічної бази, кваліфікованих спеціалістів та нормативно-технічної документації (Zagurskiy et al., 2018).

Номенклатура сільськогосподарських робіт на плановий період з трудомісткості виконання (рисунок 1). Диференціація сільськогосподарських робіт зернозбиральних комбайнів це відсоток залучення ті чи інші групи робіт конкретного комбайна на плановий період, що визначається комплексним безрозмірним показником – рівнем диференціації сільськогосподарських робіт (Rogovskii et al., 2021a). Вагомості групи сільськогосподарської роботи це показник, що визначає ступінь впливу цієї групи робіт на витрату ресурсу агрегатів та систем зернозбиральних комбайнів (Rogovskii & Titova, 2021b).

Стан технічної експлуатації зернозбиральних комбайнів у господарстві визначається рівнем факторів технічної експлуатації. Рівень факторів технічної експлуатації зернозбиральних комбайнів визначається узагальне-

ними та визначальними факторами. Стан узагальненого чинника залежить від рівня реалізації визначальних чинників (Novotny, 2016).

Природно-кліматичні умови визначаються рельєфом місцевості, кількістю опадів, середньою температурою повітря, видом та зв'язністю ґрунту (Rogovskii, 2019). Вони впливають на вагомість груп сільськогосподарських робіт, вагомість узагальнених та визначальних факторів, які, своєю чергою, визначають рівень експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Комплексним безрозмірним показником, визначальним стан експлуатації зернозбиральних комбайнів, рівень експлуатації зернозбиральних комбайнів. Теоретичний рівень експлуатації зернозбиральних комбайнів може змінюватися від 0 до 1, що відповідає станам експлуатації, при яких витрата ресурсу агрегатів зернозбиральних комбайнів буде максимальною або мінімальною (Hrynkiv et al., 2020).

Для уточнення переліку факторів та визначення їх вагомостей використовується, що застосовується в теорії кваліметрії, експертне опитування фахівців (Romanik et al., 2018).

При визначенні показника рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів найбільша складність полягає в кількісній оцінці факторів, оскільки кожен з них має свій фізичний зміст, розмірність. Більш раціональним способом отримання кількісних значень факторів є узагальнена функція бажаності Харрінгтона, який передбачає бальну систему оцінки стану факторів (Dubbin et al., 2017).

Аграрне виробництво, у частині рослинництва, характеризується збиранням врожаю сільськогосподарських культур, тобто. комплексом технологічних операцій із

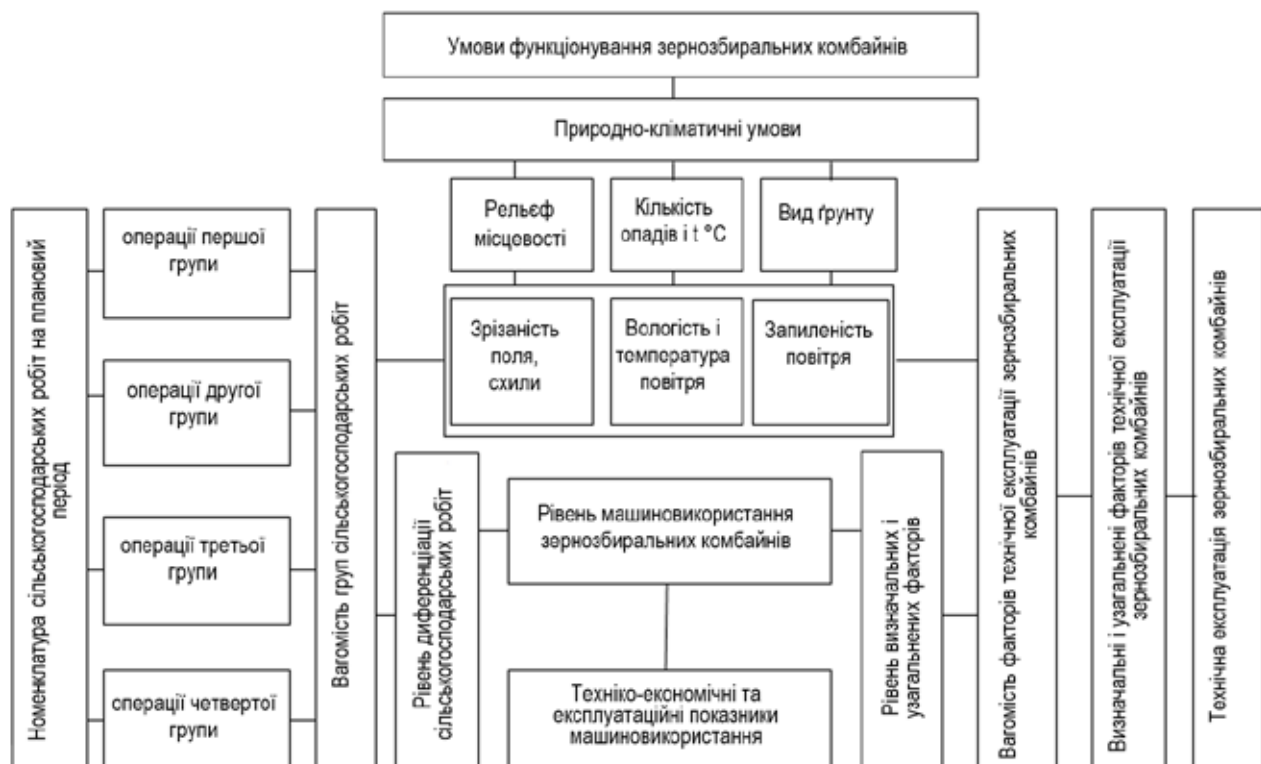


Рис. 1. Вплив рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів на показники їх використання та надійності

одержання готової продукції, пов'язані з використанням зернозбиральних комбайнів (Rogovskii, 2019).

При визначенні рівня диференціації сільськогосподарських робіт зернозбиральними комбайнами важливим моментом є оцінка їх вагомостей (Rogovskii et al., 2021b).

Метою досліджень є підвищення ефективності та надійності експлуатації зернозбиральних комбайнів з урахуванням диференціації сільськогосподарських робіт, умов їх виконання та стану технічної експлуатації.

Результати досліджень. Для визначення вагомості операцій, ми пропонуємо скористатися методом теорії математичної статистики, який полягає у проведенні регресійного аналізу результатів спостережень. При цьому величину вагомості показує – яка частка зносу посідає цю групу операцій. Підвищення рівня кожного узагальненого фактора технічної експлуатаціїється з допомогою підвищення рівнів визначальних чинників. Рациональною є послідовність підвищення рівнів факторів, що забезпечує найшвидше підвищення рівня кожної групи реалізації, а відповідно і рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Визначальні чинники у кожній групі мають у порядку зменшення коефіцієнта ефективності. Насамперед мають підвищуватися фактори, величини коефіцієнтів яких відповідають умові. Рівень узагальненого чинника диференціація сільськогосподарських робіт зернозбиральних комбайнів доцільно не підвищувати, а обґрунтувати. При цьому слід виходити з доцільності значення рівня диференціації сільськогосподарських робіт, який пов'язаний з інтенсивністю зменшення витрат на усунення відмов та простоїв. Умови функціонування впливають на інтенсивність витрати ресурсу та на техніко-економічні показники зернозбиральних комбайнів, через зниження витрат часу та коштів на усунення відмов та від простоїв, облік їх при оптимізації термінів ремонту та служби, має важливе значення.

Цільова функція для визначення оптимальних значень доремонтного, міжремонтного напрацювань та напрацювання до списання виглядають наступним чином:

$$S_w = \left(B_d - B_p + \sum_{i=1}^4 B_i \right) \cdot t_r^{-1} \rightarrow \min \quad (1)$$

де 1, 2, 3, 4 – відповідно витрати на технічне обслуговування, усунення наслідків від відмови, заміну агрегату та ремонт протягом доремонтного, міжремонтного періодів та періоду до списання, грн; t_r – відповідно доремонтна, міжремонтне напрацювання та напрацювання до списання; B_d – вартість нового агрегату, грн; B_p – залишкова вартість зернозбирального комбайна, грн.

Після перетворень, цільова функція набуде вигляду:

$$S_w = (B_d - B_p \cdot B_1 \cdot t_r + k \cdot [B_i + B_j \cdot t_r] \cdot \left[\sum_{j=1}^j \frac{t_d}{t_j} + \frac{t_d \cdot \{t_d - t_{dj}\}}{t_{mj} \cdot t_j} + \sum_{j=1}^j \frac{t_m}{t_{mj}} + \frac{t_m \cdot \{t_m - t_{mj}\}}{t_{mj} \cdot t_{jk}} + \sum_{j=1}^j \frac{t_c}{t_{cj}} + \frac{t_c \cdot \{t_c - t_{cj}\}}{t_{cj} \cdot t_{jh}} \right] + \sum_{j=1}^j \{B_h \cdot n_h\} + B_w) \cdot t_r^{-1} \rightarrow \min \quad (2)$$

де B_i – витрати на усунення наслідківвідмов і-ої групи складності в ремонтних періодах, грн; B_j – втрати продукції через годинний простій зернозбирального комбайна через відмову, грн; t_d – тривалість простою через відмову в ремонтні періоди, грн; k – коефіцієнт, що враховує зниження витрат від відмов та простоїв у зв'язку з оптимізацією інтенсивності витрати ресурсу, що залежить від підвищення рівня експлуатації зернозбирального комбайна; t_j – напрацювання на відмову j-го агрегату в доремонтному періоді, мотогодин; t_{mj} – ресурс j-го обмінного агрегату в міжремонтному періоді, мотогодин; t_{jk} – ресурс j-го обмінного агрегату; B_h – витрати на заміну j-го агрегату, грн; n_h – кількість заміни j-го агрегату за міжремонтні періоди.

Для визначення оптимальних значень необхідно знайти похідні функції за цими параметрами, прирівняти їх до нуля та вирішити цю систему рівнянь.

Для уточнення переліку узагальнених та визначальних факторів, що характеризують умови функціонування техніки, було проведено експертне опитування. Результати експертного опитування та розрахункові показники представлені у таблиці 1. Межі довірчих інтервалів для значень найбільш віддалених від середнього значення з довірчою ймовірністю 0,90, величина довірчого інтеграла не перевищує 6% від значення рівня узагальненого фактора.

В результаті спільної математичної обробки показників використання зернозбиральних комбайнів рівня їх експлуатації, були отримані закономірності зміни річного напрацювання, витрати ресурсу, кількості відпрацьованих днів та змін, питомих витрат на усунення відмов у доремонтному та міжремонтному періодах, питомих витрат від простоїв залежно від рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Відхилення фактичного значення від розрахункового вирається у 9,8%. Загалом на практиці фактичні показники підтверджують вплив рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів у розмірах, встановлених розрахунковим шляхом.

Перевірка адекватності математичної моделі показав, що відхилення фактичних та розрахункових проміжних значень питомих витрат вирається у 9,6%.

Обговорення. Отримані закономірності зміни техніко-економічних та експлуатаційних показників зернозбиральних комбайнів залежно від рівня їх експлуатації дозволили виявити, при зміні рівня експлуатація зернозбиральних комбайнів у господарствах від 0,5 до 0,88 (Rogovskii & Titova, 2021c): збільшується – річне напрацювання на 12,3%; кількість відпрацьованих днів на 39%; змін на 42%; коефіцієнт готовності від 0,59 до 0,94, тобто, на 37%; коефіцієнт використання від 0,58 до 0,92, тобто, на 36,9%, а напрацювання відмови у 1,9 раза (Rogovskii et al., 2022); зменшується – питоми витрати на усунення відмов у ремонтному періоді на 76%, а після ремонту на 74%; витрати від простоїв від 33 до 6% (Rogovskii & Titova, 2021a).

Перевірка адекватності підтвердила вплив умов функціонування зернозбиральних комбайнів на техніко-економічні та експлуатаційні показники у розмірах, встановлених розрахунковим шляхом. Похибка передба-

чення вбирається у 11,8%. Розроблена програма визначення оптимальних видів залежностей за критерієм мінімуму залишкової дисперсії має валідність (Sergejeva et al., 2018).

Висновки. Встановлено, що розроблена математична модель оптимізації термінів ремонту та служби двигуна з урахуванням умов функціонування зернозбиральних комбайнів дозволила обґрунтувати терміни про-

ведення ремонтів та списання двигуна за критерієм мінімуму питомих витрат на експлуатацію. З підвищенням рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів від 0,5 до 1 оптимальні значення напрацювань підвищуються: до ремонту від 330 до 580 мотогодин; міжремонтне напрацювання від 583 до 826 мотогодин; до списання від 8642 до 14674 мотогодин. Перевірка адекватності математичної моделі за проміжними значеннями пито-

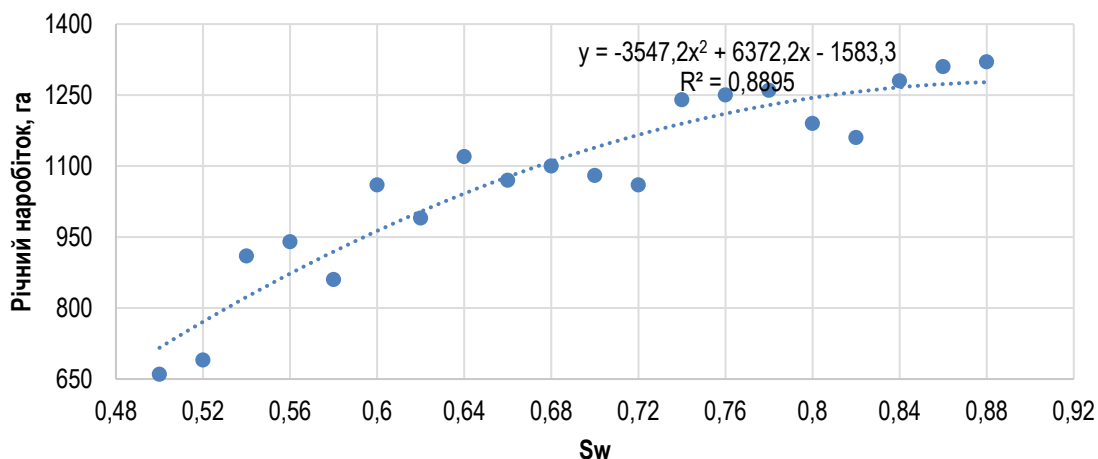


Рис. 2. Залежність річного напрацювання від рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

Таблиця 1

Уточнений перелік факторів та їх вагомості

| Найменування узагальненого фактора | Вагомості | | Коефіцієнт варіації | Найменування визначального фактора | Вагомості | | Коефіцієнт варіації |
|--|--------------|-----------|---------------------|---|--------------|-----------|---------------------|
| | розрахункова | експертна | | | розрахункова | експертна | |
| Диференціація механізованих робіт з зернозбиральних комбайнів | 0,289 | 0,31 | 0,28 | роботи 1-ої групи | 0,459 | 0,43 | 0,19 |
| | | | | роботи 2-ої групи | 0,339 | 0,32 | 0,24 |
| | | | | роботи 3-ї групи | 0,191 | 0,18 | 0,25 |
| | | | | роботи 4-ої групи | 0,011 | 0,07 | 0,31 |
| Якість проведення ТО та діагностування | 0,274 | 0,24 | 0,12 | Склад фахівців для ТО та діагностування | 0,201 | 0,19 | 0,19 |
| | | | | Наявність обладнання для ТО та діагностування | 0,310 | 0,29 | 0,27 |
| | | | | Місце проведення ТО | 0,477 | 0,45 | 0,32 |
| | | | | Дотримання термінів проведення ТО | 0,012 | 0,07 | 0,21 |
| Якість проведення обкатки нового та відремontованого зернозбирального комбайна | 0,099 | 0,18 | 0,20 | Склад спеціалістів | 0,361 | 0,34 | 0,28 |
| | | | | Дотримання правила обкатки | 0,190 | 0,23 | 0,23 |
| | | | | Місце обкатки | 0,449 | 0,43 | 0,11 |
| Організація і якість ремонту | 0,166 | 0,12 | 0,24 | Місце ремонту | 0,434 | 0,41 | 0,31 |
| | | | | Склад спеціалістів | 0,180 | 0,17 | 0,25 |
| | | | | Наявність пересувних ремонтних засобів | 0,238 | 0,28 | 0,24 |
| | | | | Якість виконання ремонтних робіт | 0,148 | 0,14 | 0,18 |
| Зберігання, заправка і якість паливно-мастильних матеріалів | 0,093 | 0,08 | 0,35 | Сортамент паливно-мастильних матеріалів | 0,216 | 0,23 | 0,17 |
| | | | | Зберігання паливно-мастильних матеріалів | 0,357 | 0,38 | 0,26 |
| | | | | Засіб заправки паливом | 0,200 | 0,19 | 0,22 |
| | | | | Контроль якості паливно-мастильних матеріалів | 0,126 | 0,13 | 0,12 |
| | | | | Фільтрування палива при заправці | 0,101 | 0,07 | 0,23 |
| Професійні особливості комбайнера | 0,079 | 0,06 | 0,15 | Стаж роботи | 0,404 | 0,43 | 0,28 |
| | | | | Спеціальна освіта | 0,339 | 0,32 | 0,33 |
| | | | | Клас комбайнера | 0,126 | 0,13 | 0,15 |
| | | | | Ставлення до техніки | 0,131 | 0,12 | 0,20 |

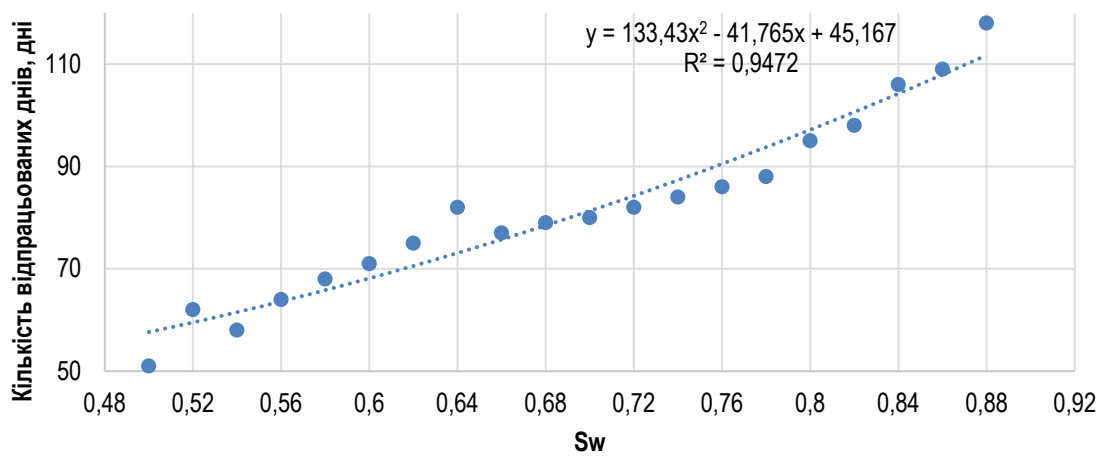


Рис. 3. Залежність кількості відпрацьованих днів від рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

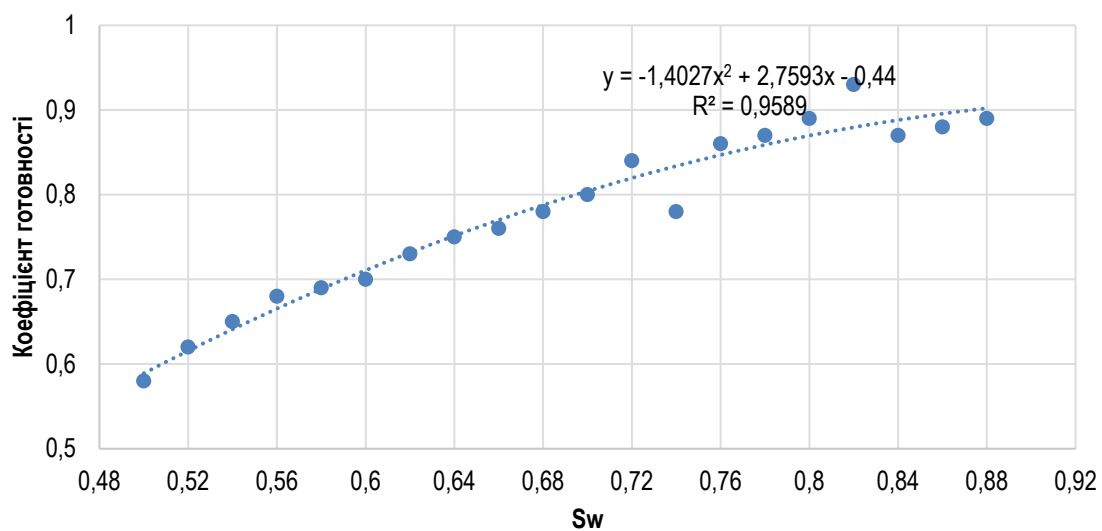


Рис. 4. Залежність коефіцієнта готовності рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

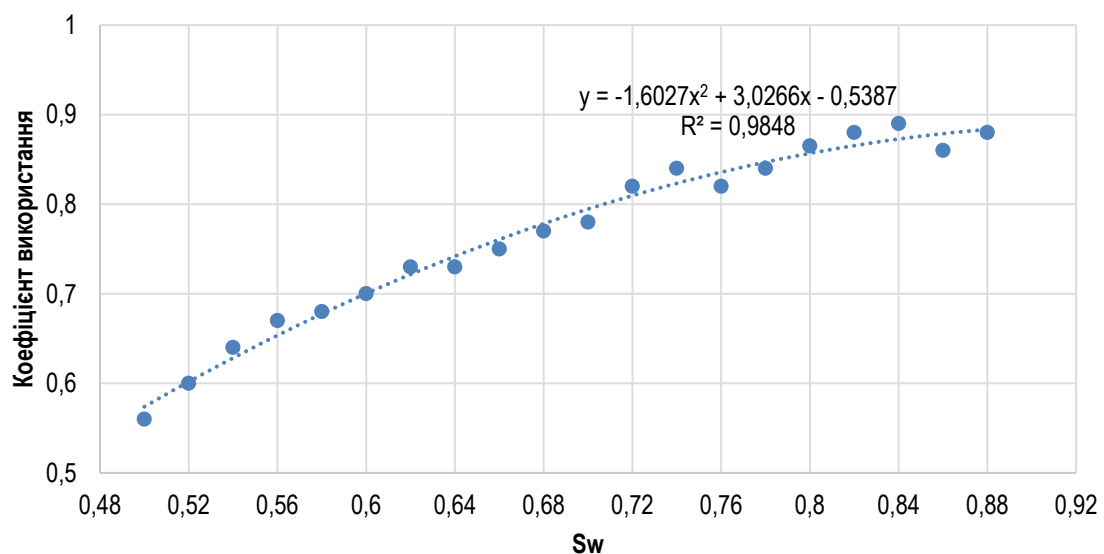


Рис. 5. Залежність коефіцієнта використання рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

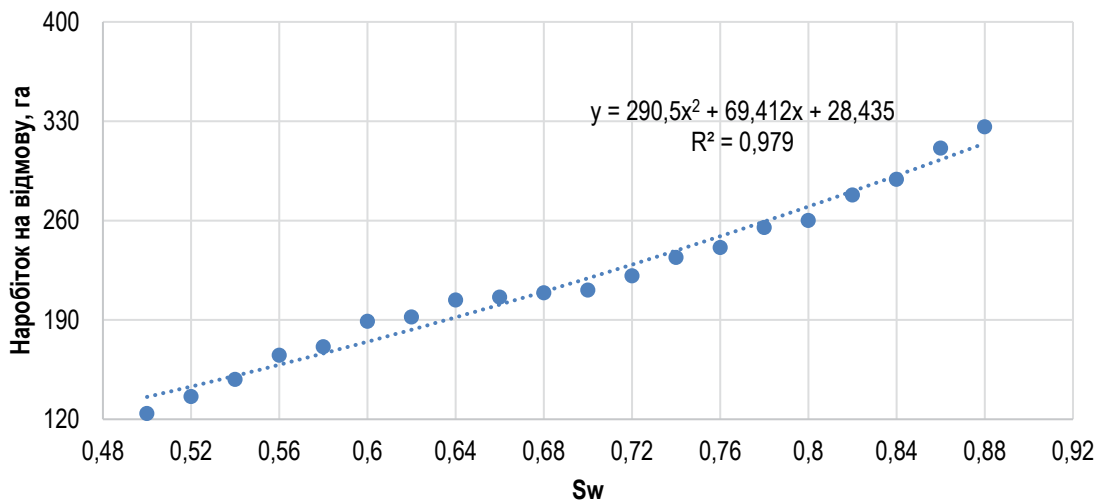


Рис. 6. Залежність наробіток на відмову агрегатів від рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

мих витрат за експлуатацію, підтвердила адекватність математичної моделі реальним умовам експлуатації зернозбиральних комбайнів, у своїй відхилення фактичних значень від теоретичних вбирається у 9,6%.

Розроблені заходи щодо підвищення рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів, які полягає у підвищенні рівня фактора технічної експлуатації до оптимального значення 0,62 та рівня диференціації сільськогосподарських робіт по комбайнах до доцільного значення 0,24, дозволили визначити оптимальне значення рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів – 0,86. Для цього запропоновано різні варіанти відсотків залучення зер-

нозбиральних комбайнів на різні групи робіт та обґрунтовано номенклатуру визначальних факторів щодо груп їх реалізації, яких необхідно підвищити до 1: «Фактори, підвищення яких залежить від проведення організаційних заходів» – 3, «Фактори, підвищення яких залежить від дисципліни праці» – 3, «Фактори, підвищення яких залежить від додаткових капіталовкладень» – 2, середня сума ефекту становить – 62,6%. Підвищення рівня експлуатації від середнього 0,67 до оптимального 0,86 слід здійснювати у два етапи. Перший етап проводиться без додаткових капітальних вкладень, у другому етапі передбачаються додаткові капітальні вкладення.

Бібліографічні посилання:

- Dubbini, M., Pezzuolo, A., De Giglio, M., Gattelli, M., Curzio, L., Covi, D., Yezekyan, T. & Marinello, F. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*, 19: 158–163.
- Forgó, Z., Tolvaly-Ros, ca F., Pásztor, J. & Kovari, A. (2021). Energy consumption evaluation of active tillage machines using dynamic modelling. *Application Science*, 11: 6240. <https://doi.org/10.3390/app11146240>.
- Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
- Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Nadochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 052002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.
- Liu, Z., Cao, S. & Sun, Z. (2021). Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 11: 4611. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84191-z>.
- Luo, A. C. J. & Guo, Y. (2013). *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag: 213.
- Masek, J., Novak, P. & Jasinskas, A. (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. *Engineering for Rural Development*, 16: 1180–1185. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118135>.
- Nazarenko, I., Dedov, O., Beryk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
- Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
- Novotny, J. (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. *Engineering for Rural Development*, 15: 16–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.239292>.
- Palamarchuk, I., Rogogvskii, I., Titova, L. & Omelyanov, O. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. *Engineering for Rural Development*, 20: 1761–1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>.

12. Pinzi, S., Cubero-Atienza, A. J. & Dorado, M. P. (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. *Journal of Sound and Vibration*, 266(3): 407–441.
13. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021a). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>.
14. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021b). Modeling of normativity of criteria of technical level of forage harvesters combines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012109>.
15. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021c). Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 022100. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022100>.
16. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
17. Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Berezova, L. V. (2021a). Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723: 032032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032>.
18. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadochiy, O. V. (2021b). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
19. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskiy, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
20. Rogovskii, I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine, 11(3): 143–150.
21. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
22. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
23. Sergejeva, N., Aboltins, A., Strupule, L. & Aboltina, B. (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. *Engineering for Rural Development*, 17: 1166–1172. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N451>.
24. Viba, J. & Lavendelis, E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In *Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME*, 22 April 2006. Tallinn, Estonia: 95–98.
25. Yata, V. K., Tiwari, B. C. & Ahmad, I. (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. *Environmental Chemistry Letters*, 16: 79–84.
26. Zagurskiy, O., Ohienko, M., Rogach, S., Pokusa, T., Titova, L. & Rogovskii, I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. *Conceptual bases and trends for development of social-economic processes*. Monograph. Opole, Poland: 64–74.

Nychay I. M., Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Simulation of level of machine utilization of grain harvesting combiners by network of functional mass service chains

In the article, the author presents the results of the substantiation of the main indicator of the decrease in the technical equipment of agricultural production and the reliability of the functioning of the equipment, which increases the problem of the efficiency of the operation of grain harvesters. The lack of methods for optimizing the repair and service of grain harvesters, taking into account the variety of variable factors, do not ensure sufficient reliability of their use.

The state of combine harvesters in the process of its intended use under the influence of operating conditions changes continuously. The conditions of operation of combine harvesters are determined by: the nomenclature of agricultural works for the planned period, the natural and climatic conditions and the conditions of technical operation of combine harvesters. The developed method of determining the level of operation of grain harvesters as a complex dimensionless indicator of the operating conditions allows to assess the state of operation of grain harvesters in a specific farm. The level of operation of combine harvesters is characterized by a list of generalized and determining factors that reflect the conditions of technical operation, the differentiation of agricultural work by combine harvesters for the planned period and have weights, the values of which depend on the degree of influence of natural and climatic conditions, the conditions of performance of work groups and technical operation operations on resource consumption of equipment units. It was established that the level of equipment operation is determined by six generalized factors: differentiation of mechanized work of combine harvesters, quality of maintenance and diagnostics, quality of running-in of new and repaired combine harvesters, organization and quality of repair, storage, refueling and quality of fuel and lubricants, combiner characteristics and 24 determining factors. Certain confidence intervals of the most distant point from the average level of the generalized factor with a confidence probability of 0.9 do not exceed 6%, which is within acceptable limits. A program has been developed for calculating the importance of determining, generalized factors and the level of operation of grain harvesters.

Key words: reliability, costs, readiness, efficiency, combine.

ВИЗНАЧЕННЯ ТА УРАХУВАННЯ ВЕЛИЧИНИ ВЗАЄМОКОМПЕНСАЦІЇ ПОХИБОК ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Приходько Василь Петрович

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

Пуховський Євген Степанович

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

Данилова Людмила Миколаївна

кандидат технічних наук, доцент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-4442-3959
Danylova.liudmyla@ill.kpi.ua

Лапковський Сергій Вікторович

кандидат технічних наук, доцент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-9870-9231
arkovskysamsung@gmail.com

Гаврушкевич Наталія Валеріївна

асистент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-6229-7458
gavrushkevichnataliya@gmail.com

На основі результатів експериментальних досліджень визначені величини та коефіцієнти взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів. Їх використання дозволяє формалізувати урахування впливу взаємокомпенсації похибок при розмірному аналізі та підвищити ефективність прогнозування оцінки точності замикаючих ланок – конструкторських розмірів за рахунок суттєвого, більше ніж у 2 рази, зменшення прогнозних величин полів розсіювання та наближення їх до реальних значень, внаслідок чого підвищити якість оцінки технологічних процесів на стадії їх проектування. Показано приклад використання одержаних результатів при розрахунку операційних розмірних ланцюгів для прогнозування оцінки точності конструкторського розміру, який засвідчив важливість і ефективність урахування взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів для підвищення якості оцінки та ухвалення більш обґрунтованих рішень щодо прийнятності технологічного процесу чи необхідності його коригування. Не урахування взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів приводить, при розрахунках величин полів розсіювання замикаючих ланок будь-яким із методів (тах-тіп, імовірнісний), до суттєвого – більше ніж у 2,3 рази завищення прогнозних величин полів розсіювання замикаючих ланок відносно фактичних. Наслідком чого може бути помилкове введення додаткової обробки, яка в дійсності буде непотрібною.

Використання отриманих результатів у практичній діяльності дозволяє підвищити якість прогнозування оцінки точності та може бути основою для подальшого створення алгоритмів виявлення таких ланок і автоматизації відповідних розрахунків. Формалізація розрахунків та урахування взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів, у сукупності з подібними рішеннями для інших процедур, відкривають шлях до подальшої автоматизації розмірного моделювання та аналізу технологічних процесів.

Ключові слова: взаємокомпенсація похибок, оцінка точності розмірів, розмірне моделювання, автоматизація розмірного аналізу.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.12>

Вступ. Сучасне виробництво, за рахунок широкого застосування верстатів з ЧПК та багатофункціональних верстатних систем на їх основі, потребує швидкого проєктування та впровадження у виробництво операційних технологічних процесів (ТП) виготовлення деталей (Bilapenko et al., 2019). Розроблення таких ТП, є одним із важливих, але достатньо трудомістких етапів технологічної підготовки виробництва. Однією зі складових проєктування ТП, від якої залежить рівень якості ТП щодо забезпечення вимог до точності розмірів та вартість оброблення деталей, є розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів (РМА ТП) (Bondarenko, 1993; Mercier, 1997; Prykhodko, 2021; Rud et al., 2019).

Метою розмірного моделювання та аналізу технологічних процесів (РМА ТП) є створення технологічних процесів, що надійно забезпечать задану точність конструкторських розмірів, при скороченні витрат часу і ресурсів на їх впровадження та реалізацію у виробництві, за рахунок знаходження оптимальних варіантів і усунення можливих помилок на етапі проєктування ТП, а не на етапі їх впровадження чи у процесі виробництва (Prykhodko, 2021). Для досягнення поставленої мети у процесі розмірного моделювання та аналізу технологічних процесів вирішуються два основні завдання (Kravchenko, 2009; Bondarenko, 1993; Prykhodko, 2021; Rud et al., 2019): 1. Оцінка здатності запропонованого технологічного процесу забезпечити необхідну точність конструкторських розмірів (КР). 2. Визначення параметрів (номінальних значень, допусків і граничних відхилень) технологічних (операційних) розмірів, припусків та розмірів заготовок, необхідних для реалізації ТП у виробництві.

Прогнозування точності конструкторських розмірів, яка буде забезпечена при виконанні розробленого ТП, виконується у процесі РМА ТП на основі формування і розрахунку операційних розмірних ланцюгів, що відображають структуру і модель впливу точності складових ланок-технологічних розмірів на точність замикаючих ланок-конструкторських розмірів.

Якість прогнозування точності КР, що буде забезпечуватись при виготовлення деталей, безпосередньо впливає на якість висновків щодо придатності та на ефективність рекомендацій щодо шляхів поліпшення розроблених ТП. Вона залежить від двох основних чинників: якості оцінки прогнозування точності технологічних розмірів-складових ланок ОРЛ, а також від якості та повноти урахування впливу їх точності на точність конструкторських розмірів. Питання прогнозування точності технологічних розмірів (ТР) висвітлені в наукових публікаціях достатньо широко, зокрема методологічні підходи (Bondarenko, 1993; Kravchenko, 2009; Prykhodko, 2021; Rud et al., 2019; Kamali Nedjid et al., 2009), є достатньо довідкових даних, що характеризують параметри точності процесів та способів оброблення деталей (Bondarenko et al., 1992; Dietrich et al., 2004; Drake, 1999; Kravchenko, 2009; Prykhodko, 2021; Rud et al., 2019; Swift & Booker, 2013). Наявність методик і доступність інформації щодо параметрів точності технологічних розмірів,

у сукупності з формалізацією процедури, дозволяють виконувати прогнозування оцінку точності ТР як у ручному (Kravchenko, 2009; Bondarenko, 1993; Mercier, 1995; Prykhodko, 2021; Rud et al., 2019), так і в автоматизованому режимі (Prykhodko, 2021; Prykhodko et al., 2022). Таким чином, завдання якісної оцінки прогнозування точності технологічних розмірів-складових ланок ОРЛ на даний час в основному вирішено, у тому числі, в частині автоматизації розрахунків.

Актуальність. Вирішення проблеми забезпечення повноти урахування впливу точності ТР на точність конструкторських розмірів і високої якості прогнозування знаходиться на недостатньому рівні та потребує подальшого дослідження та поліпшення. Одним із актуальних завдань, вирішення яких дозволить підвищити якість прогнозування точності конструкторських розмірів, є урахування взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів при розрахунках операційних розмірних ланцюгів для оцінки точності КР, які є замикаючими ланками в таких ланцюгах. Не зважаючи на визнання істотного впливу точності технологічних розмірів на оцінку точності конструкторських розмірів, визначення і урахування взаємокомпенсації похибок не має єдиної формалізованої методології та необхідних статистичних даних для їх розрахунку. У зв'язку з чим у науковій літературі пропонується і використовується декілька підходів, зокрема на основі виявлення і розрахунку пов'язаних ОРЛ (Bondarenko et al., 1992; Kravchenko, 2009) та на основі використання особливих «замикаючих – замінюючих» ланок ОРЛ (Bondarenko, 1993; Rud et al., 2019). Використання зазначених підходів потребує високої кваліфікації технологів, є трудомістким, а через недостатню формалізацію, виникають труднощі їх автоматизації. У зв'язку з такими вадами, на практиці, у багатьох випадках, взаємокомпенсацію похибок ТР взагалі не ураховують, що не викликає появи браку, через використання додаткового (надлишкового) оброблення, але приводить до збільшення витрат на виконання додаткових переходів та до зростання вартості продукції. При такому підході, часто у виробництві, на основі досвіду, вдаються до самостійного коригування ТП (зменшення кількості переходів), що породжує невідповідність реального ТП тому, який представлено в технологічній документації та є наслідком недоліків проєктування та розмірного аналізу ТП, зокрема ігнорування взаємокомпенсації похибок.

Матеріали та методи досліджень. У даний час у наукових роботах, присвячених розмірному моделюванню та аналізу технологічних процесів (Kravchenko, 2009; Bondarenko, 1993; Dietrich et al., 2004; Prykhodko, 2021; Rud et al., 2019) відзначається важливість і необхідність урахування взаємокомпенсації похибок, у той же час відсутні дані та методологічні рекомендації, що дозволили б розраховувати відповідні величини та враховувати їх при прогнозуванні точності розмірів в умовах виробництва. Зокрема, відомі лише дані щодо компенсації похибок для штампованих та литих заготовок, які можуть досягати 60 – 70 % допуску на розмір (Kravchenko, 2009; Rud et al., 2019), у той же час такі дані для оброблення

заготовок точінням, розточуванням, фрезеруванням на верстатах ЧПК відсутні.

Усунення зазначених недоліків можна досягти за рахунок формалізації процедур на основі використання відповідних залежностей для розрахунку прогнозно оцінки КР, з урахуванням взаємокомпенсації похибок ТР (Prykhodko, 2021): $\omega A1_k = \omega F1 + \omega F2 - 2\omega k$ або у загальному вигляді, якщо ОРЛ має $m-1$ складових ланок, серед яких є одна пара «зв'язаних» СЛ з компенсацією похибок (ωF_{p1} і ωF_{p2} , причому $\omega F_{p1} < \omega F_{p2}$), формула буде:

$$[\omega A_i] = \sum_{i=1}^{m-3} |\xi_i| \omega F_i + (|\xi_{p1}| \omega F_{p1} + |\xi_{p2}| \omega F_{p2} - 2 \cdot k \cdot \omega_{p1}),$$

де k – величина коефіцієнту взаємокомпенсації.

Для використання такого формалізованого підходу, який є передумовою автоматизації процедури прогнозно оцінки точності та підвищення якості оцінки, необхідне проведення досліджень для встановлення даних щодо величин взаємокомпенсації похибок ТР та відповідних коефіцієнтів для різних способів оброблення.

Метою даної праці є підвищення якості оцінки прогнозно точності конструкторських розмірів, при розмірному моделюванні та аналізі ТП, на основі експериментального визначення та урахування величин і коефіцієнтів взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів при токарному обробленні на верстатах з ЧПК.

Забезпечення високої якості прогнозування точності, одержуваних при обробленні, розмірів є важливим завданням розмірного моделювання і аналізу технологічних процесів (РМА ТП), оскільки прогнозно оцінки точності розмірів є основою для прийняття рішень щодо: 1) здатності розроблених ТП забезпечити необхідну точність конструкторських розмірів; 2) необхідності та напрямків можливого поліпшення ТП; 3) обґрунтованого

призначення допусків технологічних розмірів, що приводяться на операційних ескізах.

Для визначення величини взаємокомпенсації, на основі використання експериментально-статистичних даних, що характеризують точність різних способів та процесів оброблення (Kravchenko, 2009; Bondarenko, 1993; Dietrich et al., 2004; Drake, 1999; Rud et al., 2019; Swift & Booker, 2013; Pasquet & Marche, 2004), у даній роботі виконувався аналіз забезпечення точності лінійних розмірів при токарній обробці на верстатах з ЧПК. Дослідження проводилось шляхом порівняльного аналізу двох варіантів одержання конструкторського розміру (КР) А1 (рис. 1): 1 варіант – КР одержують прямим формуванням – обробленням двох поверхонь в одному установі, зв'язаних технологічним розміром (ТР) F3, що співпадає з КР А1. У цьому випадку КР А1 є замикаючою ланкою дволанкового ОРЛ, який має одну складову ланку – технологічний розмір F3 (на рис. 1 не показаний), що співпадає з КР А1; 2-й варіант – КР А1 одержують формуванням 2-х технологічних розмірів 1-го типу (Prykhodko, 2021) F1, F2, тобто він є замикаючою ланкою багатоланкового ОРЛ, складовими ланками якого є два ТР.

У виробництві, в залежності від умов оброблення, буде використовуватись один із зазначених варіантів, але на схемах, приведених далі, для виявлення впливу взаємокомпенсації похибок ТР використовуються і порівнюються одночасно 2 варіанти, що реалізуються за допомогою однієї і тієї ж технологічної оброблювальної системи (ТОС).

При одержанні розмірів F1, F2 коливання положень вимірювальної бази розмірів, що співпадає з технологічною базою, а також оброблюваних поверхонь, у значній мірі будуть викликані одними і тими ж причинами (факторами), наприклад, наявністю пружних деформацій

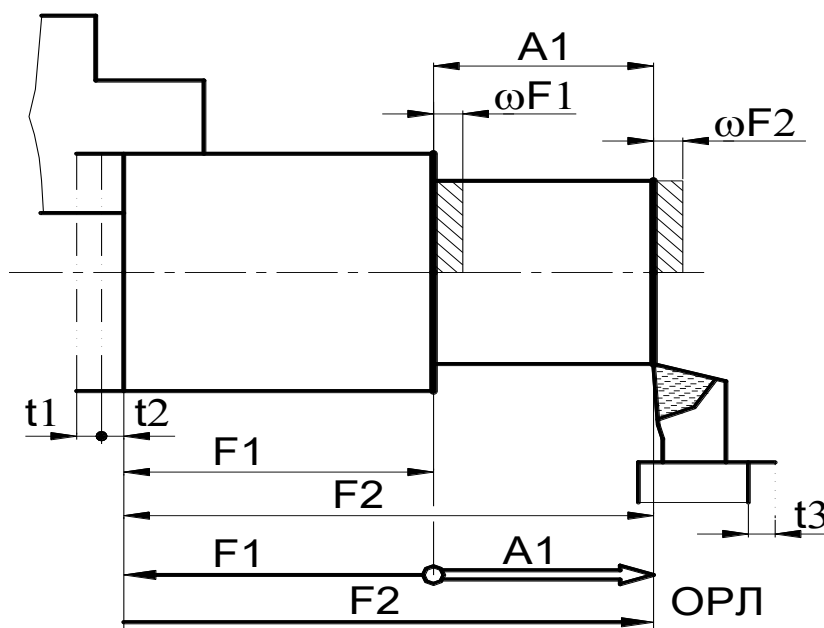


Рис. 1. Схема оброблення деталі та розмірний ланцюг, що описує розмірні зв'язки при отриманні розміру А1 за програмою на верстаті з ЧПК

$\Delta u = \Delta P_y / j$. Відповідні пружні деформації будуть спричинювати синхронне зміщення вимірювальної бази обох технологічних розмірів $F1$, $F2$, а оскільки вони є складовими ланками різних типів ($F1$ -зменшуюча, $F2$ -збільшуюча) це приведе до повної взаємокомпенсації їх похибок, зокрема викликаних деформаціями (похибки закріплення) та зміщеннями, внаслідок похибок базування, на величини відповідно $t1$, $t2$.

Розсіювання положень оброблюваних поверхонь, внаслідок пружних та температурних деформацій, зношення інструменту та інших факторів, будуть впливати на розсіювання величини замикаючої ланки – конструкторського розміру, тобто на його точність. При цьому вплив більшості із зазначених факторів характеризуватиметься певною синхронністю за напрямом їх впливу на обидва технологічні розміри та, у деякій мірі за величиною, тому зміщення оброблюваних поверхонь, при обробленні заготовки, будуть відбуватись в одному напрямку, але відрізнятись на деяку величину, внаслідок чого, а також за наявності можливого впливу інших факторів, буде мати місце тільки часткова компенсація відповідних похибок. Слід зауважити, що в ідеалізованому варіанті, у випадку абсолютної однорідності умов оброблення обох поверхонь, величини полів розсіювання ТР були б однаковими та повністю взаємно компенсувались, а величина поля розсіювання замикаючої ланки-КР дорівнювала б нулю. Така ситуація мало ймовірна, вона приведена тут для ілюстрації механізму впливу взаємокомпенсації похибок ТР на точність КР. Викладене обґрунтування дає підстави стверджувати, що в серійному та великосерійному виробництві при значній однорідності заготовок та умов обробки частини ωFi будуть компенсуватись, що відобразиться на точності КР, а отже повинно враховуватись при розмірному аналізі ТП.

Урахування взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів означає, що при визначенні сумарної похибки розміру ωAi вона повинна бути зменшена на подвійну величину зкомпенсованої частини похибки (Prykhodko, 2021)

$$\omega A1k = \omega F1 + \omega F2 - 2\omega k$$

Тобто при визначенні частини похибки ωFi , яка повинна використовуватись при розрахунку сумарної похибки, необхідно величину поля розсіювання, що відповідає економічній точності процесу та є оцінкою точності відповідного ТР, зменшити на величину зкомпенсованої похибки, бо інакше це означатиме заниження прогнозованої точності обробки, що, в свою чергу, призведе до помилкових рекомендацій щодо необхідності додаткової обробки для підвищення точності конструкторського розміру.

Результати. На основі графічного представлення схеми оброблення (рис. 1) рівняння операційних розмірних ланцюгів та полів розсіювання, для зазначених варіантів оброблення будуть такими:

$$\text{Для варіанту 1} - A11 = F3 \text{ (1) та } \omega A11 = \omega F3 \text{ (2)}$$

$$\text{Для варіанту 2} - A12 = F1 + F2 \text{ (3) та } \omega A12 = \omega F1 + \omega F2 \text{ (4)}$$

де $A11$, $A12$ – позначення конструкторського розміру $A1$, що відповідають 1 і 2 варіантам оброблення (представлення технологічних розмірів);

$\omega A11$, $\omega A12$ – величини полів розсіювання замикаючої ланки-конструкторського розміру, що відповідають 1 і 2 варіантам представлення технологічних розмірів;

$F1$, $F2$ – технологічні розміри, задані від опорної технологічної бази;

$F3$ – технологічний розмір, заданий між 2-ма оброблюваними поверхнями, що забезпечується програмою;

$\omega F1$, $\omega F2$, $\omega F3$ – величини полів розсіювання складових ланок – технологічних розмірів. Очевидно, що в результаті обробки, незалежно від варіанту задання технологічних розмірів, точність замикаючої ланки – конструкторського розміру $A1$ буде однаковою. Тобто $\omega A11 = \omega A12$, а це означає, що праві частини рівнянь (2) і (4) також повинні мати однакові величини. Така рівність має місце завдяки наявності взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів $F1$, $F2$, яка може бути врахована уведенням у праву частину рівняння (4) відповідної складової.

З урахуванням взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів $F1$, $F2$ рівняння (4), в якому однією із складових буде величина взаємокомпенсації ωk матиме вигляд: $\omega A12k = \omega F1 + \omega F2 - 2\omega k$ (5)

$$\text{Тоді можна записати } \omega A11 = \omega A12k \text{ або } \omega F3 = \omega F1 + \omega F2 - 2\omega k \text{ (6)}$$

Рівняння (6) у вигляді зручному для розрахунку величин похибок взаємокомпенсації буде таким: $2\omega k = \omega F1 + \omega F2 - \omega F3$ (7)

Використовуючи довідкові дані, що характеризують точність технологічних розмірів – $\omega F1$, $\omega F2$, $\omega F3$, та, розв'язавши рівняння (7) відносно ωk , було знайдено величини взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів для різних умов і діапазонів розмірів.

Підставляючи в рівняння (7) статистичні дані (величини полів розсіювання технологічних розмірів – $\omega F1$, $\omega F2$, $\omega F3$), що враховують тип розмірів і характеризують їх точність та одержані на основі аналізу (Bondarenko et al., 1992; Dietrich et al., 2004; Drake, 1999; Swift & Booker, 2013) визначено абсолютні значення ωk та відносну величину – коефіцієнт взаємокомпенсації (K), тобто частку величини поля розсіювання технологічного розміру, що буде компенсована $K = \omega_k / \omega_{F1}$. Визначення зазначених величин проводилось для умов оброблення на токарних верстатах з ЧПК, чорнове і чистове оброблення, для 3-х діапазонів розмірів, тобто оцінювався вплив виду оброблення та величини одержуваних розмірів.

Оцінка величин похибок, що взаємокомпенсуються при чорновій обробці на токарних верстатах з ЧПУ, діапазон поздовжніх розмірів $L < 80$ мм. Для зазначеного діапазону розмірів усереднені значення полів розсіювання, що характеризують середню економічну точність оброблення, приймались такими: $\omega F1 = \omega F2 = 0,25$ мм для розмірів $F1 = 30$ мм, $F2 = 70$ мм., $\omega F3 = 0,2$ мм. Підставивши значення у рівняння (7), знаходили фактичне значення величини взаємокомпенсації: $2\omega k = 0,25 + 0,25 - 0,2 = 0,3$ мм; $\omega k = 0,15$ мм;

Частка похибки, що взаємокомпенсується, становить $K=0,15/0,25=0,6$ або 60% величини поля розсіювання технологічного розміру.

Діапазон поздовжніх розмірів $L = 80 - 260$ мм. Аналогічно, розглянутому вище діапазону розмірів, знаходили чисельне значення поля розсіювання замикаючої ланки для нового діапазону розмірів, тобто $A1: 80 < A1 < 260$ мм. Складові ланки $F1, F2$ мають величини в діапазоні від 80 до 260 мм. Усереднені значення полів розсіювання приймалися такими: $\omega F1 = \omega F2 = 0,3$ мм., $\omega F3 = 0,2$ мм. Фактичне значення величини взаємокомпенсації:

$2\omega_k = 0,3 + 0,3 - 0,2 = 0,4$ мм; $\omega_k = 0,2$ мм; Частка похибки, що взаємокомпенсується, становить $K=0,2/0,3=0,67$ або 67% величини поля розсіювання технологічного розміру.

Виконавши розрахунки, одержали значення для інших діапазонів розмірів: Діапазон розмірів $L = 260 - 500$ мм. – $\omega_k = 0,2$ мм; $K=0,2/0,35=0,57$ або 57% величини поля розсіювання технологічного розміру. Діапазон розмірів $L > 500$ мм. – $\omega_k = 0,2$ мм; $K=0,2/0,4=0,5$ або 50% величини поля розсіювання технологічного розміру. Аналогічний аналіз та розрахунки були виконані для чистової обробки на токарних верстатах з ЧПК. Одержані результати представлені на графіку (рис. 2). Аналіз отриманого графіку (рис. 2) дає підставу зробити висновок, що із збільшенням розміру обробки величина взаємокомпенсації має тенденцію до збільшення для обох видів обробки. Для чорнкової обробки вона лежить у межах 0,15 – 0,2 мм, а для чистової – 0,09 – 0,13 мм.

На основі одержаних результатів також був побудований графік (рис. 3) для розрахунку коефіцієнтів взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів. Аналіз результатів свідчить, що частка похибки обробки, яка взаємокомпенсується ($K = \omega_k / \omega_{Fi}$), у залежності від величин розмірів, при чорнвовій обробці на верстатах з ЧПК

та забезпеченні відповідних розмірів програмою, коливається в межах від 0,5 до 0,67 поля розсіювання технологічного розміру, а при чистовій обробці – в межах від 0,5 до 0,6. Таким чином, у залежності від діапазонів отримуваних розмірів, у розрахунках доцільно приймати такі величини коефіцієнтів взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів: 1) при чорнвовому обробленні – у діапазонах розмірів 0 – 260 мм. ($K = 0,6 - 0,65$); 261-750 мм. ($K = 0,5 - 0,6$); 2) при чистовому обробленні – у діапазоні розмірів від 0 – 750 мм. ($K = 0,5 - 0,6$).

Для експериментальної оцінки величини взаємокомпенсації похибок та підтвердження результатів, отриманих на основі аналізу статистичних даних та представлених вище, були виконані експериментальні дослідження в умовах реального виробництва при виконанні розточування отвору на токарній операції по обробленню деталі «Корпус» на верстаті з ЧПК (рис. 4).

Конструкторський розмір A_k можна забезпечити двома варіантами (схемами) призначення технологічних розмірів (ТР), які будуть представлені відповідними операційними ланцюгами, що відображатимуть вплив точності технологічних розмірів на точність замикаючої ланки-конструкторського розміру. При аналізі обох варіантів виходили з того, що фактична точність розміру A_k повинна бути однаковою в обох варіантах, оскільки вона буде результатом функціонування однієї і тієї ж технологічної системи (ТОС). Це твердження є основою методики, що використовувалась для визначення частки похибок ТР, які взаємокомпенсуються.

Після оброблення, на кожній деталі із вибірки 50 штук, проводились вимірювання 3-х технологічних розмірів $F1, F2, Fk$ (рис. 4). За результатами вимірювань, для вибірки величин кожного розміру, розраховувались значення середньоквадратичних відхилень та відповідні поля розсіювання $\omega F_i = 6S$ ($\omega F1, \omega F2, \omega Fk$), які є оцінками фактичної точності технологічних розмірів.

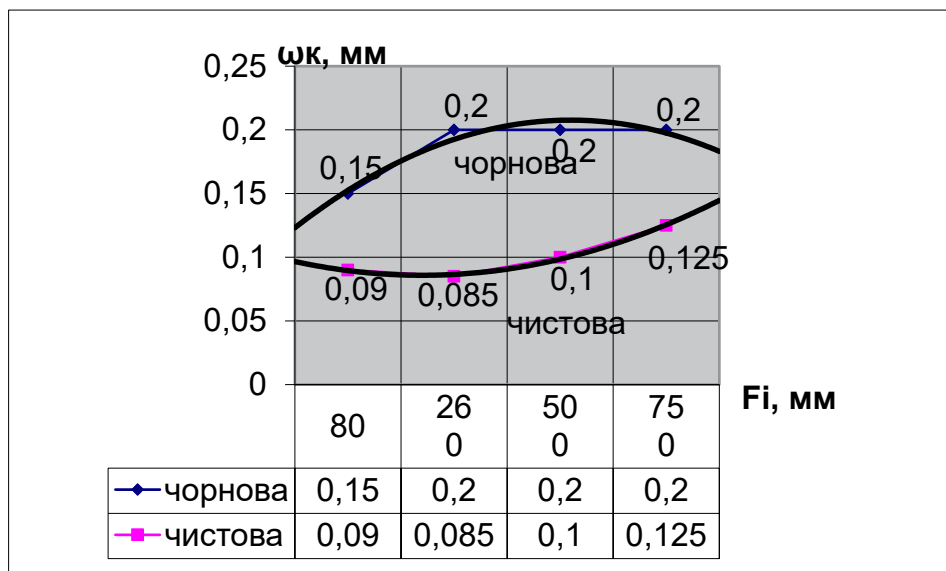


Рис. 2. Залежність величини взаємокомпенсації похибок обробки від величини технологічного розміру та виду обробки (чорнова, чистова)

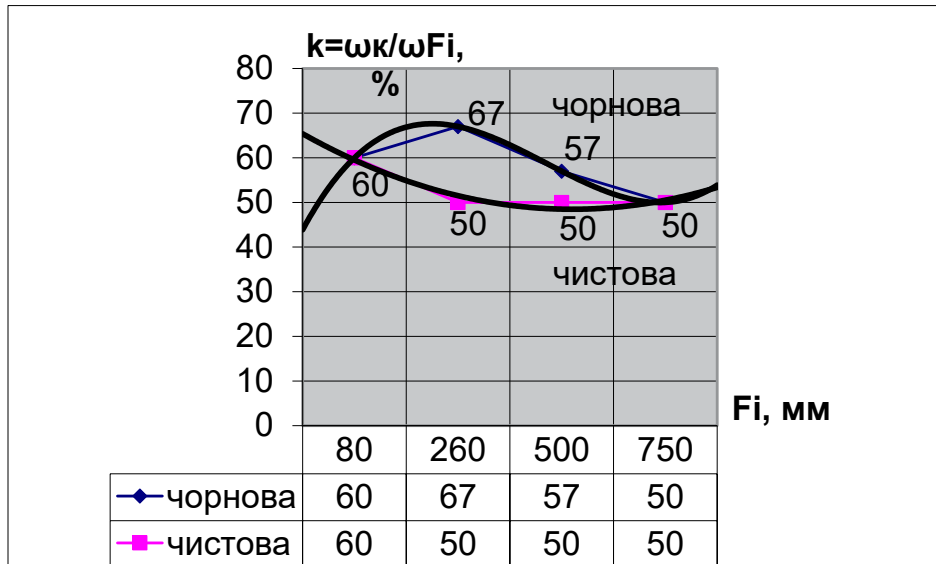


Рис. 3. Залежність величини коефіцієнту взаємокомпенсації від величини технологічного розміру та характеру обробки (чорнова, чистова)

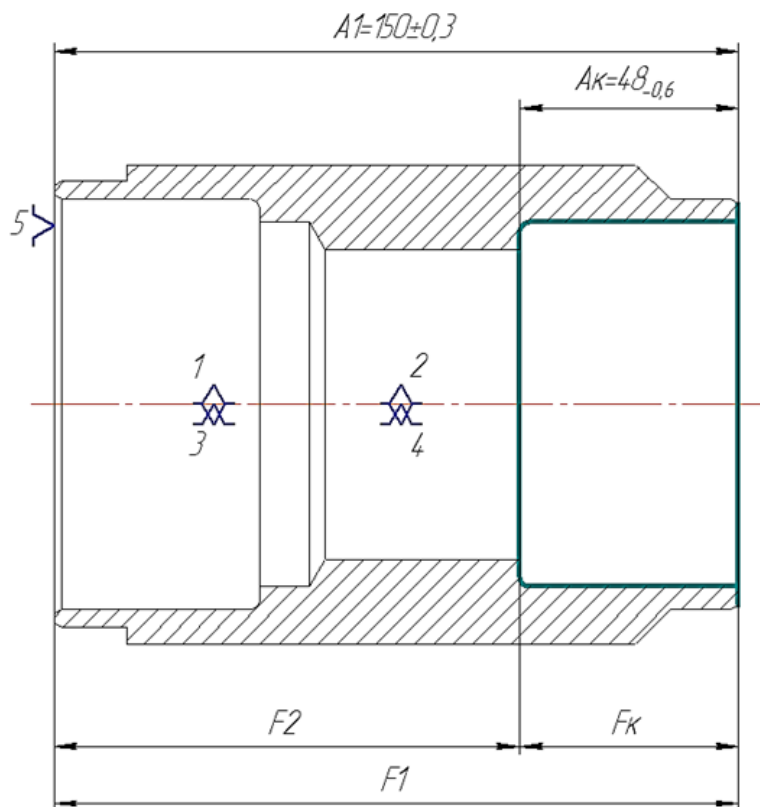


Рис. 4. Ескіз оброблення деталі «Корпус»

На підставі одержаних результатів проводився аналіз та порівняння оцінок точності замикаючої ланки – розміру A_k для 2-х варіантів.

1-й варіант: Задавались і забезпечувались технологічні розміри F_1 і F_k . Технологічний розмір F_k – заданий від налагоджувальної бази – торця, що обробляється на тій же операції. У такому варіанті ОРЛ для оцінки точності замикаючої ланки буде таким: $[A_k] = F_k$. При цьому

F_k буде відноситись до типу TP, що забезпечуються програмою, тобто $\omega F_k = \omega_{ек} F_k = 0,20 \text{ мм}$.

2-й варіант: Задавались і забезпечувались 2 технологічні розміри – F_1 і F_2 . У цьому випадку розмір A_k буде замикаючою ланкою ОРЛ: $[A_k] = F_1 - F_2$, а величини полов розсіювання замикаючої ланки розраховувались:

$$\text{методом максимуму-мінімуму } [\omega A_k] = \omega F_1 + \omega F_2 \quad (8)$$

$$\text{та імовірнісним методом } [\omega A_k] = 1,2 \cdot \sqrt{\omega^2 F_1 + \omega^2 F_2} \quad (9)$$

На основі оброблення результатів вимірювань одержали: $\omega F1 = 6S_1 = 0,25\text{мм.}$; $\omega F2 = 6S_2 = 0,28\text{мм.}$, $\omega F_k = 6S_k = 0,19\text{мм.}$, тоді з урахуванням цих величин були розраховані величини полів розсіювання конструкторського розміру Ак.

Для варіанту 1. $\omega_{Ак} = \dot{E}F_k = 0,19\text{мм.}$, що можна вважати оцінкою фактичної точності конструкторського розміру Ак.

Для варіанту 2 прогнозні величини $\omega_{Ак}$ розраховувались 2 методами:

2.1. Розрахунок методом максимуму – мінімуму згідно з рівнянням (8): $[\omega_{Ак1}] = 0,25 + 0,28 = 0,53\text{мм.}$

2.2. Розрахунок імовірнісним методом згідно з рівнянням (9):

$$[\omega_{Ак2}] = 1,2\sqrt{0,0625 + 0,0784} = 1,2 \cdot 0,375 = 0,45\text{мм.}$$

Отже, розраховані значення величин полів розсіювання замикаючих ланок є завищеними відносно фактичного значення (0,19 мм.) для методу максимуму – мінімуму у $0,53/0,19 = 2,8$ рази, а для імовірнісного – у $0,45/0,19 = 2,4$ рази.

З урахуванням того, що і в 1-му і в 2-му варіантах використовувались одні і ті ж заготовки можна стверджувати, що експериментальне значення $\omega_{Fk} = 0,19\text{мм.}$ наближається до об'єктивно існуючої (дійсної) величини поля розсіювання конструкторського розміру $\omega_{Ак}$, а отже різниця між дійсним і розрахованими прогнозними значеннями пояснюється недоліками методології розрахунку прогнозних значень $\omega_{Ак}$, а саме неврахуванням взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів $\omega F1$ і $\omega F2$. Виходячи з такої гіпотези, на основі одержаних експериментальних даних, були розраховані величини взаємокомпенсації та коефіцієнт взаємокомпенсації похибок ТР, які необхідно використовувати в розрахунках ОРЛ з такими ланками. Тобто вважали, що різниця між величиною $\omega_{Ак}$ і її розрахованими значеннями $\omega_{Ак1}$ та $\omega_{Ак2}$ є величиною взаємокомпенсації ($2\omega_k$). У даному випадку має місце часткова взаємокомпенсація похибок положень оброблюваних поверхонь внаслідок однонаправлених пружних та температурних деформацій ТОС, зносу інструменту та інших факторів. Тоді сумарна величина взаємокомпенсації всіх похибок для кожного з технологічних розмірів $F1$ і $F2$ буде однаковою і становитиме ω_k , а отже при розрахунку величини поля розсіювання замикаючої ланки $[Ак]$ методом max-min залежність (1) матиме вигляд:

$$[\omega_{Ак}] = \omega F1 + \omega F2 - 2\omega_k \quad (10)$$

З урахуванням того, що $[\omega_{Ак}] = \omega_{Fk}$, рівняння (10) можна записати, замінивши $\omega_{Ак}$ на відому величину ω_{Fk} , тоді воно матиме вигляд:

$$\omega_{Fk} = \omega F1 + \omega F2 - 2\omega_k \quad (11)$$

Після підстановки знайдених експериментальних значень ω_{Fk} , $\omega F1$ та $\omega F2$ у рівняння (11) розраховали невідому величину ω_k .

$$2\omega_k = \omega F1 + \omega F2 - \omega_{Fk} = 0,25 + 0,28 - 0,19 = 0,34\text{мм.};$$

$$\omega_k = 0,34/2 = 0,17\text{мм.}$$

Розраховавши частки величин взаємокомпенсації похибок відносно загальної величини поля розсіювання

кожного з ТР, тобто коефіцієнти взаємокомпенсації, одержали наступні їх величини:

$$k_1 = \omega_k / \omega F1 = 0,17/0,25 = 0,68;$$

$$k_2 = \omega_k / \omega F2 = 0,17/0,28 = 0,61;$$

Отже на підставі результатів експериментального дослідження, для переходів розточування, що виконуються на верстатах ЧПК, коефіцієнти взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів рекомендується приймати в межах 0,6 – 0,7, що близько до їх величин, одержаних на основі аналізу статистичних даних і представлених вище.

Обговорення. Ігнорування взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів при оцінці прогнозної точності, незалежно від вибору методу розрахунку (максимуму-мінімуму, імовірнісний) приводить до завищення більше ніж у 2 рази прогнозних величин у порівнянні з фактичними, а отже і до помилкових рішень щодо прийнятності відповідних ТП, наслідком яких буде збільшення витрат на виготовлення деталей.

Одержані у даній роботі результати, засвідчили необхідність та важливість урахування, у процесі виконання розмірного аналізу ТП, взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів при оцінюванні прогнозної точності конструкторських розмірів, їх використання у практичній діяльності дозволяє підвищити якість прогнозної оцінки точності та може бути основою для подальшого створення алгоритмів виявлення таких ланок і автоматизації відповідних розрахунків. Крім того, одержані результати свідчать про необхідність і доцільність подальшого проведення аналогічних досліджень для інших видів оброблення, наприклад, фрезерування.

Висновки. 1. На основі проведених досліджень встановлені величини і коефіцієнти взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів при виконанні токарної обробки на верстатах з ЧПУ.

2. Величини коефіцієнтів взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів при токарній обробці на верстатах з ЧПК рекомендується приймати: для чорнового оброблення – в межах 0,55 – 0,65, а для чистового 0,5 – 0,6.

3. Використання отриманих величин і коефіцієнтів взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів дозволяє формалізувати урахування впливу взаємокомпенсації похибок при прогнозуванні точності та суттєво підвищити ефективність прогнозної оцінки точності замикаючих ланок – конструкторських розмірів, одержуваних при обробці, за рахунок суттєвого, більше ніж у 2 рази зменшення прогнозних величин полів розсіювання і наближення їх до реальних значень і, тим самим, дозволяє скоротити витрати на оброблення.

4. Не урахування взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів приводить, при розрахунках прогнозних величин полів розсіювання замикаючих ланок будь-яким із методів (max-min, імовірнісний), до суттєвого – у 2,3 – 2,8 рази завищення прогнозних величин полів розсіювання замикаючих ланок відносно фактичних. Наслідком чого може бути уведення додаткової обробки, яка у дійсності не буде необхідною.

Бібліографічні посилання:

1. Bilanenko, V. H., Prykhodko, V. P., Melnyk, O. O. (2019). Proektuvannia tekhnolohichnykh protsesiv. Chastyna 1. Obroblennia detalei-til obertannia. [Design of technological processes. Part 1. Processing of parts-bodies of rotation] Elektronnyi resurs: navchalnyi posibnyk dlia studentiv spetsialnosti 131 «Prykladna mekhanika»– Elektronni tekstovi dani (1 fail: 12,8 Mbait) – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho – 232s. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27740> [in Ukrainian]
2. Bondapenko S.H., Cherednikov O.V. y dr.(1992) Razmernyi analiz konstruksyi. [Dimensional analysis of structures]. Spravochnyk. K.: Tekhnika, – 150s. [in Ukrainian]
3. Bondarenko S.H. (1993). Rozmirni rozrakhunky mekhanoskladalnoho vyrobnytstva [Dimensionals accounts of mechano-assembly production]. Kyiv. Minosvity Ukrainy, instytut systemnykh doslidzhen osvity Ukpainy. [in Ukrainian].
4. Dietrich, R., Garsaud, D. Gentillon, S., Nicolas, M.(2004). Précis de méthodes d'usinage : méthodologie, production et normalisation, [Handbook of machining methods: methodology, production and standardization] 7ème édition, Ed. NATHAN – AFNOR, 182p.[in French]
5. Drake, Paul J. Jr. (1999). Dimensioning and Tolerancing Handbook, McGraw-Hill, New York., 704 pages.
6. Kravchenko, L. S., (2009). Razmernyi analiz pry proektirovanny, yzghotovleny y sborke [Dimensional analysis in design, manufacture and assembly]: Uchebn. posobyе [dlia stud. mashynostroyt. spetsyaln.]. – Kharkov: NTU «KhPY», – 356 s. [in Ukrainian].
7. M. Kamali Nedjid, F. Vignat and F. Villeneuve (2009), Simulation of the geometrical defects of manufacturing, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 45, No. 7-8, pp. 631-648, DOI: 10.1007/s00170-009-2001-3
8. Mercier, J. (1993) “De l'étude de fabrication à l'analyse d'usinage, 2ème édition”, Edition de la Technique moderne – Pierron, Sarguemines, 294p.(in French)
9. Pacquet, G., Marche, L., (2004). Guide de la productique, [Guide to production] Ed. Delagrave, Paris, 412p. [in French]
10. Prykhodko V., Pukhovskiy Y., Danylova L., Lapkovskiy S., Sapon S. (2022). Informatsiine zabezpechennia rozmirnoho modeliuвання ta analizu tekhnolohichnykh protsesiv.[Information support for dimensional modeling and analysis of technological processes]. Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. № 3(29). S.77-93. [in Ukrainian]
11. Prykhodko, V.P. (2021). Rozmirne modeliuвання ta analiz tekhnolohichnykh protsesiv: navchalnyi posibnyk dlia studentiv spetsialnosti 131 «Prykladna mekhanika» [Dimensional modeling and analysis of technological processes: study guide for students of specialty 131 “Applied mechanics”]. KPI im. I. Sikorskoho. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>. [in Ukrainian]
12. Rud, V.D., Herasymchuk, O.O., & Markova, T.P. (2008). Rozmirno-tochnistnyi analiz konstruksii ta tekhnolohii [Dimensional-accuracy analysis of constructions and technologies]. Lutsk: RVV LDTU,- 344p. [in Ukrainian]
13. Swift, K G; Booker, J D (2013). Manufacturing process selection handbook, Oxford : Butterworth-Heinemann., 512 p.

Prykhodko V. P., PhD in Technical Sciences, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Pukhovskiy Ye. S., Doctor of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Danylova L. M., PhD in Technical Sciences, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Lapkovskiy S. V., PhD in Technical Sciences, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Havrushkevych N. V., Assistant, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Determination and accounting of the value of mutual compensation of errors in predicting the accuracy of processing on machines with CNC

Based on the results of experimental studies, the values and coefficients of mutual compensation of errors in technological dimensions are determined. Their use makes it possible to formalize the consideration of the influence of the mutual compensation of errors in the dimensional analysis and to increase the efficiency of the predictive assessment of the accuracy of the master links – design dimensions due to a significant, more than 2 times, reduction in the predictive values of the scattering fields and their approximation to real values, as a result of which the technological processes assessment quality will be increased at the stage of their design.

An example of the use of obtained results in the calculation of operational dimension chains for the predictive assessment of design dimension accuracy is shown. It has proved the importance and efficiency of taking into account the mutual compensation of technological dimension errors to improve the assessment quality and make more informed decisions about the acceptability of technological process or the need for its adjustment.

While calculating the magnitudes of scattering fields of closing links by any of the methods (max-min, probabilistic), failure to take into account the mutual compensation of errors of technological dimensions leads to a significant, more than 2.3 times, overestimation of the predicted values of scattering fields of closing links relative to the actual ones. The consequence of which may be the erroneous introduction of additional processing, which in reality would be unnecessary.

The use of obtained results in practice allows to improve the predictive accuracy assessment quality and can be the basis for the further creation of algorithms for the detection of such links and automation of corresponding calculations.

Formalization of calculations and taking into account the mutual compensation of errors of technological dimensions, together with similar solutions for other procedures, open the way to further automation of dimensional modeling and analysis of technological processes.

Key words: mutual compensation of errors, assessment of dimensional accuracy, dimensional modeling, automation of dimensional analysis.

ТЕХНОЛОГІЯ ФІНІШНОГО ОБРОБЛЕННЯ СТАНИН МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Пуховський Євген Степанович

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

Фролов Володимир Костянтинович

кандидат технічних наук, доцент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-3697-286X
v.k.frolov@gmail.com

Приходько Василь Петрович

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

Бецко Юрій Михайлович

старший викладач
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-7283-2207
betsko.uri@gmail.com

Оброблення великогабаритних деталей дуже трудомістке, пов'язане з великою витратою часу. Тому одним з основних питань, які доводиться вирішувати у важкому машинобудуванні, є підвищення продуктивності оброблення в результаті застосування передових технологічних рішень, подальше збільшення виробничого оснащення, його спеціалізації, механізації та часткової автоматизації. Сучасне верстатобудування характеризується значною часткою дрібносерійних і одиничних форм виробництва. Металорізальні верстати, вироблені для механічної обробки деталей, характеризуються високою металоємністю і високою трудомісткістю їх виготовлення. Для обробки станин верстатів використовується універсальне обладнання, в тому числі з числовим програмним управлінням (ЧПУ), або створюються технологічні комплекси, засновані на використанні унікального обладнання, пристроїв для базування, а також оригінальних інструментів. У зв'язку зі специфічними особливостями оброблення важких і великогабаритних станин металорізальних верстатів 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 станин часто виникає необхідність в оригінальних технічних рішеннях.

Якість чистового оброблення поверхонь напрямних станин металорізальних верстатів значною мірою впливає на їх зносостійкість, а отже, і тривалість збереження верстатом точності при експлуатації (Antonenko Y.S. (2019); Gagarin V.O. (2016)). У процесі чистового оброблення напрямних досягаються їх задана площинність, пряmolінійність, точність взаємного розташування напрямних та взаємного розташування поверхонь, що утворюють напрямні, досягаються задані параметри шорсткості поверхні та фізико-механічні властивості поверхні та поверхневих шарів металу напрямних (Pukhovskiy E.S., (2021); Tekhnologia verstatnikh robit (2015)). Тому надзвичайно актуальною у вітчизняному верстатобудуванні, що повинно відродитися, є проблема фінішної обробки поверхонь станин.

З усіх деталей верстата станина виконує одну з найбільш відповідальних функцій як в процесі її складання, так і в процесі експлуатації. Вона є базовою деталлю, за допомогою якої з'єднується і узгоджується з точністю, необхідною для роботи верстата, велика частина вузлів і значна кількість його деталей (Design and analysis of machine tool bed., (2018)).

Критерієм визначення якості станини є її початкова точність і шорсткість тертьових поверхонь, а також можливість підтримки цих показників в процесі експлуатації. Тому особливо важливо при призначенні процесів оброблення, особливо в кінцевих операціях, проаналізувати вплив прийнятих методів і способів оброблення на

експлуатаційні характеристики деталей, вибрати з них ті, які несуть в собі хорошу технологічну спадковість (Antonenko Y.S. (2019); Veselovskaia N.P. (2015); Design and analysis of machine tool bed. (2018)). Таким чином, дослідження способів фінішної обробки поверхні станин є актуальною проблемою. При цьому необхідно вирішити питання не тільки послідовності виконання операцій з метою отримання якісних показників – точності, прямолінійності, шорсткості поверхні, а і досягнення показників якості поверхневого шару, які забезпечують довговічність і точність роботи верстатів.

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. Питання вдосконалення технологічних процесів в серійному і масовому виробництві галузей машинобудування, не пов'язаних з важким машинобудуванням, широко висвітлюються в технічній літературі. Робіт, в яких систематизовані основні питання технології виробництва для великогабаритного важкого машинобудування, немає, частково вони висвітлені лише в розрізних виданнях. (Design and analysis of machine tool bed., (2018); Veselovskaia N.P. (2015); Application of mineral casting for machine tools beds. (2013)).

Основними завданнями при обробленні станин верстатів є: досягнення необхідної геометрії точності, шорсткості поверхні і фізико-механічних властивостей поверхневого шару (Pukhovskiy E.S., (2021); Antonenko Y.S. (2019)). 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 та інших прогресивних процесах обробки матеріалів (Pukhovskiy E.S., (2021); Application of mineral casting for machine tools beds. (2013)). В процесі різання поверхневі шари мають незначне зміцнення, а іноді навіть розміцнюються. У разі такого способу оброблення неможливо за допомогою режиму різання регулювати шорсткість поверхні, особливо форму мікронерівностей, а також фізико-механічні властивості поверхневого шару. Останнім часом спостерігається пожевлення робіт по використанню незвичних для виготовлення станин матеріалів, таких як граніт, полімерні матеріали, тощо (Application of mineral casting for machine tools beds., (2013); Modelling and analysis of CNC milling machine, (2018);); Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool, (2022)). Однак найбільша увага прикута до вдосконалення та розвитку традиційних для цієї галузі технологічних операцій, таких як шліфування, притирання, накатування, обкатування роликками, пневмовібродинамічна обробка та таке інше. Ці технологічні процеси забезпечують високі експлуатаційні властивості станин верстатів, в тому числі сучасних оброблюваних центрів з ЧПК, які працюють в автоматичному циклі в гнучких виробничих системах (Tekhnologiya verstatnikh robot (2015); Gagarin V.O. (2016); Veselovskaia N.P. (2015)).

Мета роботи. Аналіз та розробка прогресивних технологічних процесів фінішної обробки великогабаритних станин металорізального обладнання для забезпечення точності та продуктивної експлуатації окремих верстатів та комплексів важкого машинобудування.

Ключові слова: верстат, станина, направляючі станини, фінішна обробка, якість обробки.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.13>

Виклад основного матеріалу. Одним із способів як чистового оброблення, так і оздоблювального оброблення напрямних станин є шліфування. Для цих цілей застосовують два способи шліфування (рис. 1): торцеве (вісь обертання круга перпендикулярна до поверхні, що шліфується) і периферією круга (вісь обертання круга паралельна поверхні, що шліфується).

Спочатку шліфують поверхні великих габаритних розмірів. Припуск на шліфування становить 0,2...0,3 мм.

Шліфування є продуктивним процесом, що забезпечує задану прямолінійність і низьку шорсткість прошліфованих поверхонь, однак через шаржування поверхні осколками абразивних зерен і відсутності великогабаритних поздовжніх плоскошліфувальних верстатів шліфування доцільно застосовувати тільки для оброблення сталевих або чавунних загартованих чи отбілених напрямних станин порівняно невеликих габаритних розмірів. Шліфувати незагартовані чавунні чи інші поверхні порівняно в'язких та м'яких матеріалів не рекомендується.

Для оздоблювального та зміцнювального оброблення напрямних станин та інших відповідальних поверхонь найчастіше застосовують такі способи.

Чистове стругання широкими різцями з наступним наведенням так званого «морозу», що є декоративним

візерунком у вигляді ком, шахових квадратів або ялинки. Цей спосіб оброблення напрямних широко поширений при виготовленні напрямних та інших деталей важких верстатів.

Тонке стругання широкими різцями здійснюється на поздовжньо-стругальних верстатах, ширина різального лека різців знаходиться в межах 20...100 мм. Припуск на тонке стругання становить близько 1 мм і знімається за 2-3 проходи. Глибина різання останнього проходу складає 0,03-0,07 мм, подача дорівнює половині довжини різальної кромки різця, швидкість різання становить 15...20 м/хв для швидкорізальних різців, і 40...60 м/хв для твердосплавних. Шорсткість поверхні після оброблення становить 10,0...3,2 мкм. Після стругання на поверхнях напрямних наводиться спеціальними шаберами «мороз».

Шабрування застосовується виключно в індивідуальному та дрібносерійному виробництві. При його використанні досягаються висока прямолінійність та паралельність площин (до 0,002 мм на довжині 1000 мм). Шабрування площин проводиться вручну за допомогою спеціального інструменту – шаберу. Крім ручного, застосовують і механічне шабрування, що здійснюється на верстатах, які рухають шабер в зворотньо-поступальному напрямку. Трудомісткість оброблення напрямних

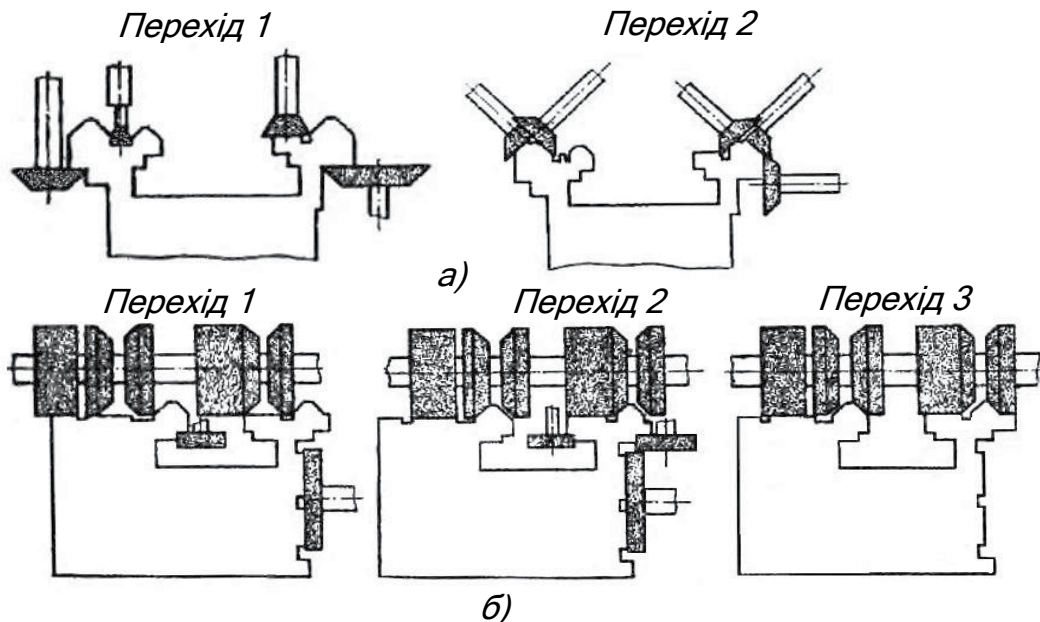


Рис. 1. Схема шліфування напрямних станини верстата:
 а)-чашковими кругами: б) – периферією шліфувальних кругів

шабруванням у 4...5 разів вища, ніж при шліфуванні. Шабрування широко застосовують при обробленні поверхонь направляючих станин, конструктивні особливості яких виключають застосування інших способів (наприклад, закриті поверхні). У зв'язку з простотою та універсальністю способу та відсутністю обладнання особливо великих габаритних розмірів його широко застосовують для станин важких верстатів, що відрізняються великими габаритними розмірами. Шабрування ведеться від більшої поверхні до меншої.

Притирання застосовується при кінцевому обробленні направляючих верстатів підвищеної точності. При цьому виконують доведення направляючих карборундовими брусками з гасом і наступне притирання з гасом або пастою до направляючих робочого столу або супорта верстата. Притирання з гасом ведуть під навантаженням 2...3 кН протягом 2...4 год, а з пастою 10...15 хв.

Наклепування поверхонь напрямних сталевими кульками показано на рис. 2. У сталевому корпусі обкатувальної головки в спеціальних пазах вміщені сталеві кульки діаметром 5 або 7 мм по 50 шт. у ряд. Кульки виступають із корпусу на 0,5 мм. Корпус головки з кульками приводиться у обертання від окремого електродвигуна зі швидкістю 30 м/с. Кульки під дією відцентрової сили наносять удари по поверхні направляючих, що рухається зі швидкістю 10 м/хв (рис. 2, б). При цьому глибина наклепаного шару становить 0,3...0,4 мм, підвищується твердість поверхневого наклепаного шару на 20...30%, шорсткість поверхні Rz знижується до 6,3... 1,6 мкм.

При обробленні площин методом пластичного деформування накатним інструментом основна мета полягає у підвищенні поверхневої твердості та досягненні низької шорсткості, а також отриманні оптимального для заданих експлуатаційних умов мікрорельєфу поверхні.

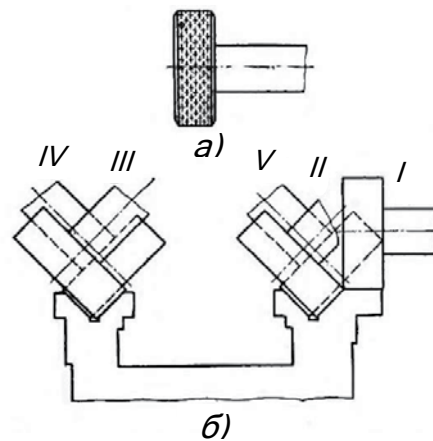


Рис. 2. Схема наклепування напрямних станини спеціальними кульковими головками (цифри I-V показують послідовність оброблення)

Точність після накатування залежить переважно від точності попереднього оброблення.

При накатуванні площини однороликівим або однокульковим інструментом, а також багаткульковою головкою нерівності оброблюваної поверхні під тиском пластично деформуються та зминаються. В результаті такого оброблення шорсткість поверхні зменшується, згладжуються гострі виступи мікронерівностей, у поверхневому шарі створюється наклеп, фізико-механічні властивості поверхневого шару металу змінюються.

Оброблення поверхні може проводитися на будь-яких стругальних, фрезерних та плоскошліфувальних верстатах. Однороликіві та однокулькові оправки затискаються в супортах або головках і їх подача здійснюється вздовж або впоперек площини, що обробляється рухом столу

і супортів або головок. Багатокулькові головки закріплюються у шпинделях фрезерних верстатів.

Під накатування поверхні обробляються до Rz 20,0...6,3 мкм. Після накатування однороликівими та однокольковими оправками шорсткість поверхні знижується до Rz = 3,2...0,4 мкм, багатокульковими головками – до Rz = 6,3...0,8 мкм.

Для отримання мінімально можливої для даного способу шорсткості поверхні, обробку слід вести з подачею 0,05...0,2 мм/кулька при діаметрі кульок 17... 18 мм. У разі збільшення діаметра кульок слід збільшувати подачу. Швидкість кочення кульок при цьому має бути для чавуну не вище 150 м/хв, для сталі – 200 м/хв. Тиск кульки чи ролика на чавунну поверхню має бути не більше міцності матеріалу, тобто трохи більше 600...650 Н/мм². При обробленні сталеві поверхні тиск має перевищувати межу міцності на 10...12%. Сталь накатується із застосуванням машинного масла, чавун – всуху, оскільки графіт, що видавлюється з чавуну, є мастилом.

Одним з перспективних способів підвищення зносостійкості напрямних станин є їх електромеханічне накатування, засноване на тепловому та силовому впливі ролика на оброблюваний матеріал (рис. 3). Сутність цього способу полягає в тому, що через оброблювану деталь та інструмент пропускається електричний струм великої сили та низької напруги, тому в місці контактування ролика з металом створюється теплове поле. Подальше швидке охолодження сприяє зміцненню поверхні внаслідок утворення дрібнодисперсних загартованих структур, що характеризуються високим опором зношування.

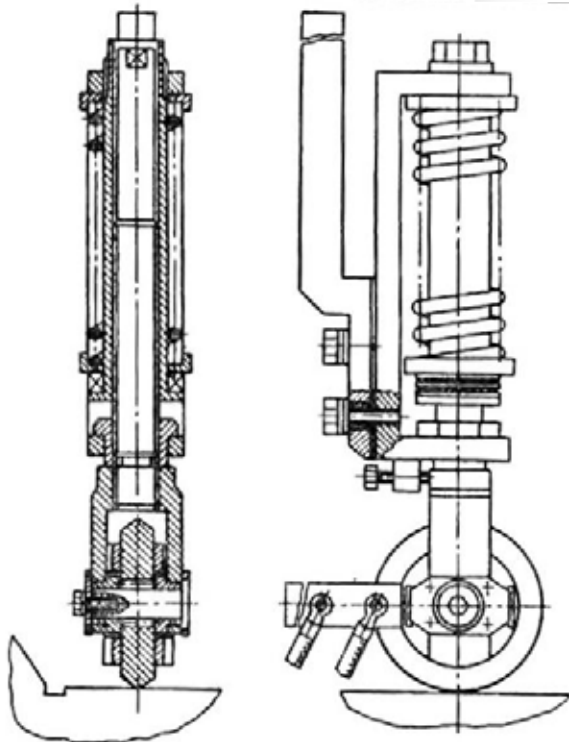


Рис. 3. Роликовий пристрій для зміцнювального оброблення напрямних станини електромеханічним накатуванням

Електромеханічна накатна оправка встановлюється в супорті поздовжньо-стругального верстата. Зусилля наочування регулюється пружиною. На поверхню станини наноситься покриття із антифрикційних матеріалів на основі міді або легкоплавких металів. Ролик виготовляється із твердого сплаву. Внаслідок електромеханічного наочування зносостійкість станин збільшується в 1,7...2,5 рази.

Вібраційне накатування та обкатування плоских та циліндричних поверхонь полягає в тому, що в результаті складного відносного переміщення деформуючого елемента інструменту (кульки, алмазного або твердосплавного наконечника) щодо поверхні, що обробляється на ній видавлюються за певним заданим законом канавки, між якими зберігається первинний мікрорельєф поверхні або створюється повністю новий мікрорельєф.

Параметрами режиму віброобкатування (рис. 4, а) і вібронакатування (рис. 4, б), що визначають характер одержуваного мікрорельєфу поверхні, є: частота обертання заготовки при обробленні тіл обертання n_z або величина поздовжньої подачі $S_{\text{пов}}$ при вібронакатуванні, кількість осцилюючих подвійних ходів деформуючого елемента $n_{\text{ос.х}}$, амплітуда $2l$, яка рівна довжині осцилюючого ходу деформуючого елемента, подача на оберт $S_{\text{об}}$ або поперечна подача S_n на хід стола, діаметр деформуючої кулі $d_{\text{кул}}$ або радіус деформуючого алмазного або твердосплавного наконечника r_n .

В результаті взаємодії зазначених параметрів режиму за один оберт деталі або хід столу на оброблюваній поверхні деформуючим елементом (кулькою, наконечником) видавлюються канавки, що мають синусоїдальну траєкторію, амплітуда якої дорівнює довжині осцилюючого ходу деформуючого елемента $2l$, а довжина хвилі λ

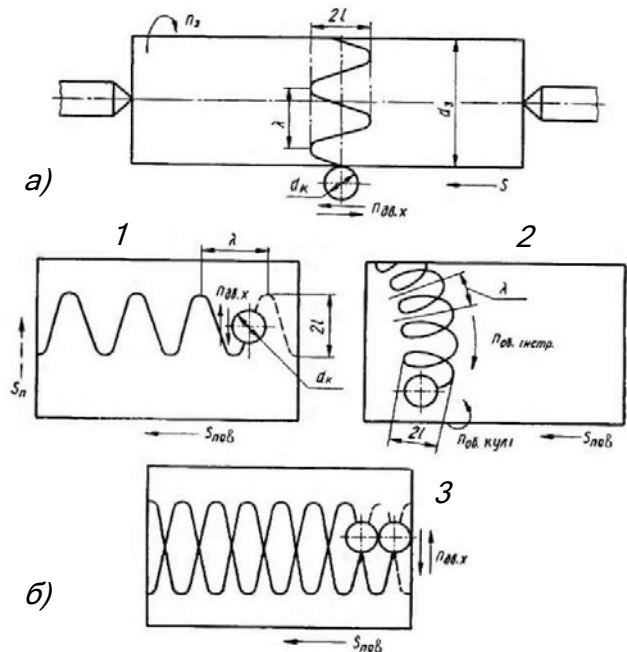


Рис. 4. Схеми вібраційного накатування та обкатування: а) – тіл обертання; б) – плоских поверхонь

залежить від співвідношення числа подвійних ходів $n_{\text{дв.х}}$ і частоти обертання заготовки n_3 або поздовжньої подачі столу $S_{\text{пов}}$.

Вібронакатування плоских поверхонь (рис. 4, б) може бути здійснено за кілька проходів – рядковим способом (1), за один прохід при обертанні інструменту та деформуючого елемента (2) та за один прохід при осцилюючому русі деформуючого елемента (3).

Завдяки наявності подачі на оберт деталі при віброобкатуванні або на хід стола при вібронакатуванні площин у процесі оброблення на поверхні деталі можна отримувати різноманітний складний малюнок, а також профіль мікрорельєфу, який залежно від співвідношення параметрів режиму може бути поділений на чотири основні типи (рис. 4), що відрізняються між собою взаємним розташуванням канавок, що видавлюються, їх площею і об'ємом (маслоємністю): з канавками, що не перетинаються (а); з канавками, що перетинаються неповністю (б); з канавками, що повністю перетинаються (в); з канавками, що зливаються і перетинаються (г), утворюють новий мікрорельєф (I – тетрагональний, II – гексагональний).

Шляхом варіювання взаємним розташуванням утворюють мікрорельєф видавлюваних канавок і характером самого мікрорельєфу, що визначається формою і розміром нерівностей, можна отримати такі задані параметри, як $R_a, R_z, F_{on}, tp, r_e, r_{зан}, \beta$. В результаті вібраційного накачування та обкатування забезпечується високий ступінь однорідності розмірів і форми нерівностей що утворюються з радіусами виступів і западин, у сотні разів більшими, ніж при обробленні способами різання, а також поєднання оптимального мікрорельєфу зі значним зміцненням поверхневого шару, особливо при утворенні четвертого типу мікрорельєфу (з канавками, що зливаються і перетинаються).

Після вібронакатування плоских поверхонь на них виходить понад 40 плям контакту на площі 25 x 25 мм² замість 25...30 плям, що отримуються після шабріння, внаслідок чого контактна жорсткість і зносостійкість деталей підвищуються в 1,5...3 рази.

У процесі вібраційного накачування та обкатування (рис. 5) на поверхні утворюється система мастильних канавок і кишень, тому оптимізуються площа контакту деталей, що сполучаються, і маслоємність їх поверхонь; знижується коефіцієнт тертя, приблизно в 1,6...2,2 рази підвищується зносостійкість, в 1,5 ... 1,7 рази зменшується момент торкання однієї деталей у парі, що сполучається, що сприяє підвищенню плавності роботи з'єднання. При сухому терті канавки працюють як пастки затримують у собі продукти зносу, пил та абразивні складові, завдяки чому локалізується їх дряпаюча дія.

Мікрорельєф з канавками, що не перетинаються, забезпечує високу зносостійкість в парі метал-метал, з канавками що неповністю перетинаються – сприяє підвищенню опірності схоплюванню, з канавками, що повністю перетинаються, – забезпечує плавність роботи пари тертя. Четвертий тип рельєфу (з канавками, що зливаються і перетинаються) є заново утвореним, забезпечує хорошу зносостійкість і герметичність в парі тертя мета-

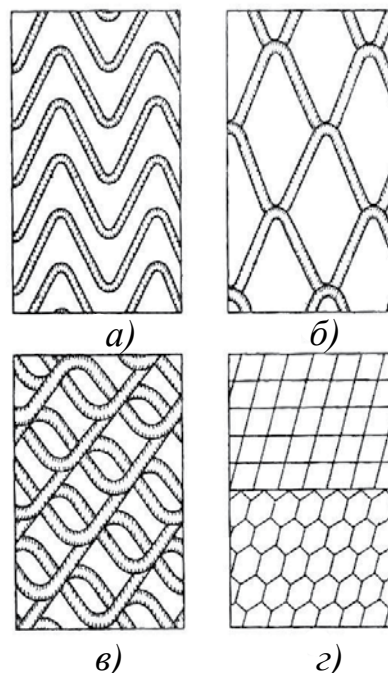


Рис. 5. Схеми поверхонь що утворюються при вібраційному обкатуванні

лехи деталей з різними гумовими, а також пластмасовими ущільнювачами і сальниками.

Великий ефект зміцнення поверхневого шару при вібронакатуванні та віброобкатуванні в порівнянні зі звичайним накачуванням або обкатуванням досягається в результаті багаторазового застосування навантажень і складного відносного руху деформуючого інструменту та оброблюваної деталі.

У деяких випадках при оздоблювальному обробленні площин застосовується плоске суперфінішування із застосуванням абразивних або алмазних брусків. Найбільш доцільним є застосування цього способу при обробці площин дисків.

Після оздоблювального або оздоблювально-зміцнювального оброблення напрямних проводиться остаточне оброблення отворів під опори для шпинделя. Зазвичай воно полягає в тонкому розточуванні. У одиничному виробництві важких і великих верстатів у ряді випадків застосовується шабріння.

Завершальною операцією виготовлення станин металорізальних верстатів є контроль їх якості, в процесі якого проводиться перевірка правильності геометричних форм поверхонь, що утворюють основні та допоміжні бази станини, перевірка правильності їх взаємного положення та перевірка шорсткості поверхні.

У зв'язку з тим, що площини, що утворюють напрямні станини, у переважній кількості верстатів мають відносно невелику ширину при значній довжині, особливе значення має перевірка прямолінійності напрямних. Ця перевірка складається з наступних етапів:

1. Визначення похибки напрямку, тобто кутового відхилення від еталонної прямої. При цьому використовують рівень або зорову трубу та коліматор.

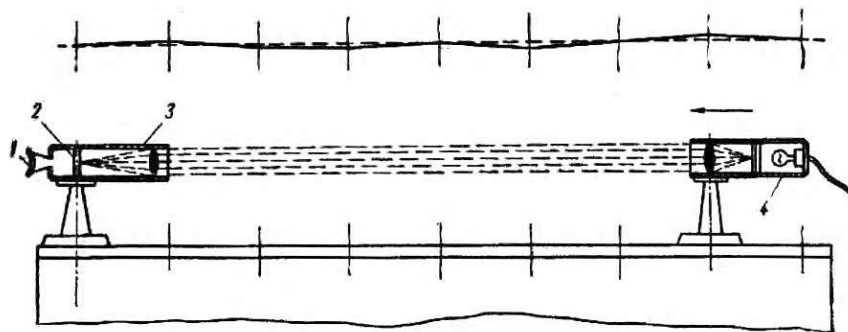


Рис. 6 Схема перевірки напрямних верстата оптичним методом при допомозі зорової труби та коліматора

При перевірці за допомогою рівня контроль проводиться послідовним переміщенням рівня вздовж усієї довжини напрямних станини з розбивкою по довжині на кілька ділянок. На кожній ділянці проводиться відлік відхилення бульбашки рівня в поділах шкали або визначається кутове відхилення кожної ділянки від еталонної прямої. Для перевірки прямолінійності вертикальних напрямних у станин четвертої та п'ятої груп для встановлення рівня використовується косинець з базовою довжиною, що дорівнює довжині рівня. Точність цього способу залежить від чутливості рівня та кількості вибраних ділянок по довжині напрямних.

Перевірка за допомогою зорової труби та коліматора проводиться наступним чином: зорова труба 3 і коліматор 4 встановлюються на кінцях напрямних станини, розбитої по довжині на кілька ділянок (рис. 6). Пучок паралельних світлових променів, що виходить з коліматора, потрапляє в зорову трубу, і на екрані 2 проєктується перетин двох ниток коліматора. При русі коліматора вздовж напрямних до зорової труби перетин ниток, видиме в окуляр 1 на екрані зорової труби, може змінювати своє місце в залежності від величини похибки. За цими відхиленнями визначають кутові відхилення від еталонної прямої. У такий спосіб можна перевіряти горизонтальні, розташовані під кутом і вертикальні напрямні.

2. Визначення похибки лінійного відхилення від еталонної прямої у двох взаємно перпендикулярних площинах. Цю перевірку виконують за допомогою лінійки, лінійки та індикатора або мінометра, рівня води як еталонної горизонтальної поверхні, індикатора з рівнем або натягнутої струни (для вертикальних напрямних).

Перевірка за допомогою лінійки може проводитися на фарбу, з використанням кінцевих мір довжини або щупів, індикатора або мінометра.

Напрявні станин великих важких верстатів перевіряють індикатором з рівнем, гідростатичним способом, а також оптичними засобами за допомогою коліматора. Найбільш простим способом перевірки прямолінійності та площинності напрямних станин довжиною більше 10 м є гідростатична перевірка за рівнем вільно наливої води (рис. 7). Для здійснення гідростатичної перевірки на направляючі станини укладаються відкриті зверху

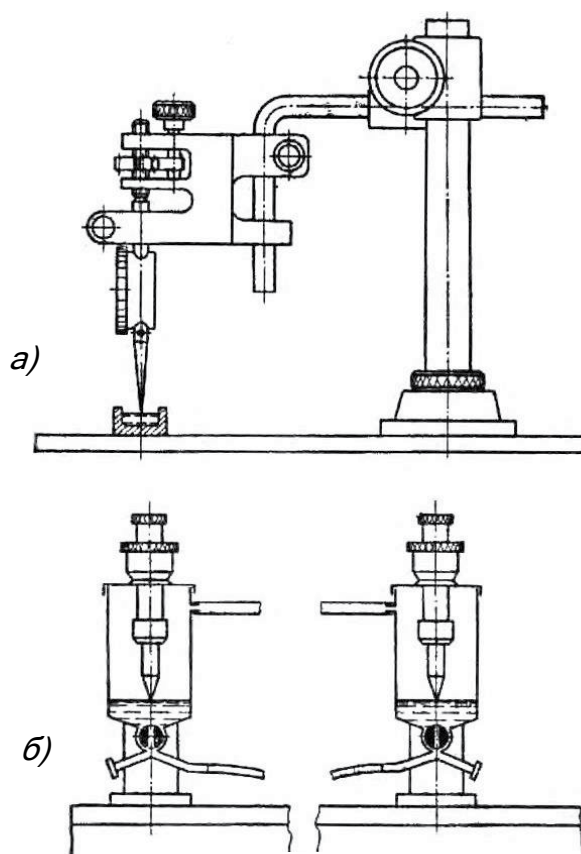


Рис. 7. Схема гідростатичної перевірки напрямних верстата відкритим (а) і закритим (б) методом

трубки або жолоби, у які заливається з бачка вода. Для підтримки системи постійного рівня вони з'єднані гумовими шлангами з бачком. Вимір відхилення від прямолінійності проводять мікрометричним гвинтом в момент, коли вістря ніжки спеціального індикаторного пристрою торкається поверхні води. Переміщаючи штатив з індикатором вздовж напрямних по всій довжині, можна виміряти кожну ділянку напрямних. Помилки виміру знаходяться в межах 0,07...0,1 мм. Низька точність вимірювання пояснюється впливом на відкриту поверхню води атмосферного тиску, можливим випаровуванням рідини в процесі перевірки, забрудненням

рідини, а також коливаннями поверхні рідини під впливом вібрацій, струсів полу або контрольної плити, на якій встановлена станина.

З метою виключення можливості впливу зазначених вище факторів на точність вимірювання використовуються закриті гідростатичні головки, що забезпечують точність вимірювання прямолінійності та площинності напрямних великої довжини в межах 0,01...0,015 мм.

Контроль прямолінійності напрямних станин завдовжки 30 м і більше виконують за допомогою оптичних приладів – коліматорів та спеціальних телескопів.

Правильність взаємного розташування поверхонь напрямних встановлюють шляхом перевірки їх паралельності або взаємної перпендикулярності методом порівняння положення поверхонь, що перевіряються з положенням еталона за допомогою індикаторних

плит, шаблонів, спеціальних пристосувань або на фарбу.

Таким чином, використання фінішних операцій при виготовленні станин металорізальних верстатів дозволяє забезпечити не тільки параметри точності при їх обробці, але й якісні показники поверхневого шару напрямних станин, що підвищує їх працездатність та функціональність на протязі великого часу.

Висновки. Розглянуті сучасні можливості підвищення якості великогабаритних станин металорізальних верстатів. Запропонована послідовність виконання фінішних операцій з метою досягнення не лише точності обробки станин, а і забезпечення параметрів поверхневого шару напрямних, завдяки чому підвищується довговічність їх роботи та забезпечується якість обробки деталей на цих верстатах.

Бібліографічні посилання:

1. Antonenko Y.S. (2019) *Pidvizhennia tochnosty vazhkikh verstativ shliakhom upravlinnia parametrami nesutoi sistemi.* [Increasing the accuracy of heavy machines by controlling the parameters of the carrier system], Diss. Kand. Tekh. Nauk., Kramatorsk, 136 s. [In Ukrainian].
2. Gagarin V.O. (2016) *Udoskonalennia tekhnologichnikh system plazmovogo gradientnogo zmitznennia velikogabaritnikh detalei.* [Improvement of technological system of plasma hardening of large-sized parts], Diss. Kand. Tekh. Nauk. K, 136 s. [In Ukrainian].
3. Pukhovskiy E.S. (2021) *Progresivni protzesi obrobki materialiv.(elektronniy resurs),* [Progressive processes of materials processing], (1 fail 8,38 MB), Kyiv, NTUU (KPI) im. I. Sikorsogo, – 132 c., <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41197>. [in Ukrainian].
4. Vaintraus M.A., Zalevsky V.I., Popov D.V. *Tekhnologia verstatnikh robit* (2015), [Machine tool technology) – K., 199 s. [in Ukrainian].
5. Veselovskaia N.P. (2015) *Analiz verstatnikh kompleksiv mekhanichnoi obrobki v mashinibuduvanni.* [Analysis of machine tool complexes of mechanical processing in mechanical engineering]. Vinnitza, VDU, 8 s. [In Ukrainian].
6. Application of mineral casting for machine tools beds.(2013), N. Kopczak, V. Pavlovski. *Mecanical Engeineering*, vol. 17, № 4 p. 285-289. Lodz University of Technology.
7. Shukia A., Sing L.P. *Design and analysis of machine tool bed.* (2018) *Jetir*, September, vol. 5, issue 9.
8. Kamble J., Katimani S.R. *Modelling and analysis of CNC milling machine bed with advanced material.* (2018) *International Journal of Reseach*, vol. 7, oct.
9. Chuang H.C., Chen C.R. *Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool.* (2022) *Journal of Xian Shiyou University*, vol.65, issue 05, DOI:10.17605/OSF.10/8

Pukhovskiy E. S., Doctor of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Frolov V. K., Candidate 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

Betsko Yu. M., Senior Lecturer, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Finishing technology of bed of metal-cutting machines

Processing 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. Modern machine tools are characterized by a significant proportion of small-scale and single forms of production. Metal-cutting machines produced for machining parts are characterized by high metal consumption and high labor intensity of their manufacture. For processing the bed of machines, universal equipment is used, including those with numerical program control (CNC), or technological complexes are created based on the use of unique equipment, basing devices, as well as original tools.

Due to the specific features of the processing of heavy and large-sized beds of metal-cutting machines 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 work organization that are widely used in large-scale and mass production of industries not related to heavy engineering. When cutting the bed, there is often a need for original technical solutions. The quality of finishing of the surfaces of the guides of the beds of metal-cutting machines significantly affects their wear

resistance, and, consequently, the duration of preservation of accuracy during operation by the machine (Antonenko Y.S. (2019); Gagarin V.O. (2016)).

In the process of finishing the guides, their specified flatness, straightness, accuracy of the relative position of the guides and the relative position of the surfaces forming the guides are achieved, the specified parameters of surface roughness and physical and mechanical properties of the surface and surface layers of the metal of the guides are achieved (Pukhovskiy E.S., (2021); Tekhnologia verstatnikh robit (2015)). Therefore, extremely relevant in the domestic machine tools, which should be revived, is the problem of finishing the surfaces of the bed.

Of all the parts of the machine, the bed performs one of the most important functions both in the process of its assembly and during operation. It is the basic part by which it is connected and consistent with the accuracy necessary for the operation of the machine, most of the components and a significant number of its parts (Design and analysis of machine tool bed., (2018)). The criterion for determining the quality of the bed is its initial accuracy and roughness of rubbing surfaces, as well as the ability to maintain these indicators during operation. Therefore, it is especially important when assigning processing processes, especially in final operations, to analyze the influence of accepted methods and methods of processing on the performance characteristics of parts, to choose from them those that carry good technological heredity (Design and analysis of machine tool bed., (2018); Veselovskaia N.P. (2015); Application of mineral casting for machine tools beds. (2013)).

Thus, the study of methods for finishing the surface of the bed is an urgent problem. At the same time, it is necessary to solve the issue of not only the sequence of operations in order to obtain quality indicators – accuracy, straightness, surface roughness, but also to achieve quality indicators of the surface layer, which ensure the durability and accuracy of the machines.

A significant reserve for increasing labor productivity in heavy engineering is the rational organization of the 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. The issues of improving technological processes in serial and mass production of mechanical engineering branches not related to heavy engineering are widely covered in the technical literature (Modelling and analysis of CNC milling machine, (2018); Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool, (2022)).

There are no works in which the main issues of production technology for large-sized heavy engineering are systematized, they are partially covered only in disparate publications (Design and analysis of machine tool bed., (2018); Veselovskaia N.P. (2015); Application of mineral casting for machine tools beds. (2013)). The main tasks in the processing of bed machines are: achieving the required geometry of accuracy, surface roughness and physical and mechanical properties of the surface layer ((Pukhovskiy E.S., (2021); Antonenko Y.S. (2019)).). Finishing operations, during which the physical and mechanical properties of the surface layer of massive parts are formed, and therefore their operational qualities, are based on cutting materials and other progressive material processing processes ((Pukhovskiy E.S., (2021); Application of mineral casting for machine tools beds. (2013)).). In the process of cutting, the surface layers have a slight hardening, and sometimes even strengthen. In the case of this method of processing, it is impossible to adjust the roughness of the surface, especially the shape of micro-irregularities, as well as the physical and mechanical properties of the surface layer using the cutting machine tools. Recently, there has been a revival of work on the use of materials unusual for the manufacture of beds, such as granite, polymeric materials, etc. (Application of mineral casting for machine tools beds., (2013); Modelling and analysis of CNC milling machine, (2018); Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool, (2022)). However, the greatest attention is focused on the improvement and development of traditional technological operations for this industry, such as grinding, lapping, rolling, rolling by rollers, pneumovibrodynamic processing and so on (Application of mineral casting for machine tools beds., (2013); Modelling and analysis of CNC milling machine, (2018); Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool, (2022)). These technological processes provide high operational properties of machine-tool beds, including modern CNC machining centers that operate in an automatic cycle in flexible production systems (Tekhnologia verstatnikh robit (2015); Gagarin V.O. (2016); Veselovskaia N.P. (2015)).

The purpose of the work. Analysis and development of progressive technological processes of finishing large-sized beds of metal-cutting equipment to ensure the accuracy and productive operation of individual machines and complexes of heavy engineering.

Key words: machine-tool, bed, bedding guides, finishing, processing quality.

ПОКРАЩЕННЯ СМАКУ ТА АРОМАТУ БІЛКОВОЇ МАСИ, ОТРИМАНОЇ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА БІОПРЕПАРАТУ «СПХ-Б»

Рижкова Таїсія Миколаївна

доктор технічних наук, професор
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0001-8811-5547
rujkova.ua @gmail.com

У статті розглядається необхідність використання ароматичних добавок при створенні нового асортименту харчових продуктів. Відомо використання біопрепарату «Сироватковий харчовий паропродукт», дія якого спрямована на прискорення процесу дозрівання твердих сичужних сирів. В якості основи для його виготовлення використовується закваска на знежиреному молоці. Після її термічної обробки та фільтрації отримується рідка сироваткова фракція, яка і є біологічним препаратом, і білкова маса. Відсутність яскраво вираженого смаку і запаху у цього високобілкового напівфабрикату, який можна віднести до категорії «порожній», обмежує його подальше використання як харчового продукту. Це зумовлює необхідність використання технологічних прийомів, спрямованих на покращення його смаку та аромату. У досліджах білкову масу ділили на 2 частини. До однієї частини – дослідної (Д) додано ароматизатор ТОВ «Скорпіон – Аромат», який має лимонний смак та аромат (0,5 кг на 1000 кг готової продукції) та цукор-пісок у кількості 10% до маси. А до другої частини – контрольної (К) партії вносили тільки цукор-пісок у тій же кількості. Для отримання однакової вологості обох партій продукту дослідну партію піддавали додатковому пресуванню. Встановлено, що застосування ароматичної добавки відразу після закінчення виробничого процесу сприяло збільшенню титрованої кислотності дослідної (Д) на 4 °Т порівняно з контролем. Після 24-годинного зберігання в холодильній камері при температурі 8°C вміст масової частки вологи в дослідній партії (Г) виявився на 0,5% меншим порівняно з аналогічним показником у контрольній (К) (49,5% проти 50% у контролі). Зменшення вмісту вологи в попередньо ароматизованій (Д) партії сирної маси № 2 супроводжувалося незначним відділенням сироватки. На підставі вищевикладеного встановлено, що сирна маса, збагачена смаковими добавками та введенням цукру-піску за рецептурою в кількості 10%, містить 17,5% білка, низьку титровану кислотність 200 °Т та має жовто-зелений кольор і однорідну щільну консистенцію. Усі ці ознаки та відсутність у її складі технічно шкідливої та патогенної мікрофлори, низький вміст жиру в знежирених молочних продуктах, що не регламентується, дають підстави включати сирну масу, збагачену смаковими добавками, до раціону людей, які страждають на переїдання, або стежать за своїм здоров'ям.

Ключові слова: молоко коров'яче, біопрепарат, білкова маса, ароматизатор, смак, цукор-пісок, аромат.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.14>

Вступ. Як відомо, мабуть, першим процесом, використаним ще доісторичною людиною для консервування і ароматизації їжі, було копчення, тобто обробка димом. Пізніше для ароматизації їжі застосовували також ароматичні рослини та прянощі. В якості широко використовуваних процесів, що забезпечує збереження та ароматизацію їжі, слід назвати бродіння, внаслідок якого, отримували вино. Проте про власне ароматизаторів (ароматичні рослини і прянощі не є ароматизаторами), можна говорити починаючи з середини XIX століття, коли було створено промислове виробництво ефірних олій, синтезовано бензальдегід, коричневий альдегід, ванілін, а потім і багато інших смакоароматичних речовин.

Як відомо, застосування ароматизаторів дозволяє: створити широкий асортимент харчових продуктів, що відрізняються ароматом, на основі однотипної продукції: карамелі, мармеладу, напоїв, картопляних сніків, жувальної гумки, маргаринів, олій та майонезів. Застосування ароматизаторів знайшло місце у м'ясній та молочній індустрії (Carocho et al., 2014).

У сироварінні відомо, при виробництві твердих сичужних сирів, дія яких спрямована на прискорення процесу їх дозрівання, використання двох видів біопрепаратів під назвою «Сироваткові парапродукти харчування». Один

з них відомий під скороченою назвою біопрепарат «СПХ-Б», а другий – «СПХ-С». Їх відмінність, один від одного, полягає у використанні в якості основи для виготовлення біопрепарату «СПХ-Б» – закваски та отримання відходів – білкової маси, а для другого – «СПХ-С» – використання сирно – сироваткової суспензії, яка, на наш погляд, непридатна для подальшого використання (Рижкова, 2017).

При виготовленні біопрепарату, технологія якого заснована на відділенні сироватки від термічно обробленої закваски, утворюються такі продукти: сироватка, що і є біопрепаратом, який потім вводиться в процес виробництва сирів для прискорення процесу їхнього дозрівання, а також білкова маса, яку можна віднести до продуктів вторинної сировини, або інакше – до напівфабрикату. Розробка технології, спрямованої на забезпечення повної переробки усіх компонентів молока, раціональне використання побічних продуктів та напівфабрикатів, зниження нормативних втрат, сприятиме збільшенню обсягів виробництва молочної продукції та підвищенню ефективності роботи підприємств у цілому. Одним із шляхів для вирішення вище вказаної проблеми, є використання харчових ароматичних добавок, що обумовлено, перш за все, технологічною необхідністю. Без

них неможливо створити новий асортимет молочних продуктів, покращити смакові якості напівфабрикатів із наступним включенням до раціону харчування споживачам молочної продукції або збільшити термін їхнього зберігання (Грек та ін., 2011).

Попередньо отримані результати досліджень є тісно пов'язаними з впровадженням у виробництві безвідхоної технології, та свідчать про можливість включати сирну масу, після збагачення напівфабрикату смако-ароматичними компонентами (цукром та ароматизаторами) до раціону харчування споживачів молочної продукції. Кожному харчовому продукту властиві індивідуальні, характерні тільки для нього смак і аромат. В їх формуванні приймають участь сотні речовин, що гармонізують один з одним: альдегіди, кетони, вуглеводні, гетероциклічні з'єднання, спирти, кислоти, прості та складні ефіри, тощо.

Для додання харчовим продуктам що виробляються в промисловості специфічного аромату и або смаку використовують ароматизатори. За різних причин виробництво смакоароматичних речовин не можливо, як із за високої вартості вихідної сировини, обмеженості природніх сировинних ресурсів, так і із-за слабкості або недостатньої стабільності існуючих натуральних ароматів. Ідентичні натуральним смакоароматичним речовин. Вони зазвичай являють собою суміш смакоароматичної частини та розчинника ідентичні натуральним смакоароматичні речовини повністю відповідають природним, але вони отримані хімічним синтезом. Дозування ароматизаторів в молочній промисловості залежить від вимог до інтенсивності смаку і аромату, а також від органолептичних властивостей продуктів. При цьому при виборі, дозування ароматизатора, слід враховувати рекомендації фірми виробника.

Ароматизатори знайшли застосування в м'ясній та в молочній індустрії. Використання ароматизаторів дозволяє створити широкий асортимент м'ясних продуктів, що відрізняються за смаком та ароматом, урізноманітнити продуктову гаму; підсилити м'ясний смак і аромат, відновити смак і аромат, втрачений при зберіганні або переробці (наприклад, при термообробці). Ароматичні смакові характеристики приготованого м'яса, зокрема, відіграють найбільш важливу роль у харчовій якості м'яса, його прийнятті та перевагах споживачами (Ba et al., 2012).

Застосування ароматизаторів, у тому числі натуральних не переслідує мету підвищення харчової або біологічної цінності продуктів, збагачення його мікроелементами або біологічно активними речовинами. Єдина задача що виконується ароматизаторами – поліпшення аромату харчових продуктів і, як наслідок, цього, позитивний вплив на процеси травлення та засвоєння поживних та інших компонентів їжі.

Результатом комбінованої ферментативно-термічної реакції є гідроліз білків сої з використанням протеази/пептидази. Отримані вільні амінокислоти цистеїну та тіаміну при наступній висотемпературній обробці вступають у реакцію із редуруючими цукрами. Таким чином утворюються м'ясні смакові та ароматичні про-

філі подібні до яловичини (Lotfy et al., 2015). З інформації, викладеної в Прайс-аркуші ТОВ «Скорпіо–Аромат», виробнику ароматизаторів, харчові ароматизатори виготовлені із натуральних або ідентичні натуральним запашиним речовинам, розчинним у пропіленгліколі. Вони універсальні у своєму застосуванні і випускаються в рідкій формі, є розчинними у воді, жирі та термостійкі (до 300 °С). Ці харчові добавки вже знайшли застосування в українському ринку під час виробництва йогуртів. Але їх використання у технологіях інших молочних продуктів є обмеженим.

Метою даного дослідження є покращення смаку і аромату білкових мас, отриманих при виготовленні біологічно активного препарату «СПХ-Б».

Для цього було поставлено наступні завдання:

1. Провести фізико-хімічні дослідження (з визначенням вмісту масової частки білка, титрованої кислотності) дослідної (Д) партії напівфабрикату, збагаченого ароматизатором та з введенням до його складу цукру – піску за рецептурою, порівняно з контрольною партією (К) продукту № 1, тільки з введенням до її складу такої ж самої кількості цукру- піску (без використання ароматизатора).

2. Провести порівняльну органолептичну оцінку обох вище вказаних дослідної та контрольної партій сирної маси за показниками: смаку, запаху, аромату, кольору та консистенції. Зробити висновок про можливість реалізації нежирного високобілкового продукту–нежирної сирної маси споживачам молочної продукції.

3. Визначити шляхи подальших науково-практичних досліджень.

Матеріали і методи досліджень. Застосовували загально відомі та широко вживані методи, а саме: визначення масової частки загального білка (протеїну) здійснювали методом К'ельдаля відповідно до вимог ДСТУ ISO 8968-1 і ДСТУ ISO 8968-5; титровану кислотність у відповідності до вимог ГОСТ 3624-92; масову частку вологи і сухої речовини в напівфабрикаті та у сирній масі згідно з вимогами ГОСТ 3626-73.

Викладення основного матеріалу дослідження.

У напівпромислових умовах на навчальній лінії на кафедрі технології переробки та якості продукції тваринництва Державного біотехнологічного університету, був виготовлений біопрепарат «СПХ-Б», а отримана в процесі його виробництва високо білкова нежирна маса була розділена на 2 частини.

До однієї з них дослідної (Д) партії № 2 у заміс під час вальцювання (перетирання) додавався ароматизатор ТОВ «Скорпіо–Аромат» та цукор–пісок у кількості 0,0005 та 10 мас., %, відповідно. Зокрема, за рекомендаціями товаро – виробника ароматизатора, із розрахунку 0,5 кг ароматизатора на 1000 кг готового продукту. А до другої – контрольної (К) партії продукту № 1 – додавався цукор – пісок у такій самій кількості. Технологічний процес виробництва вище вказаних партій продукту здійснювався відповідно до вимог чинної нормативної – технічної документації. Для отримання однакового вмісту вологи дослідній (Д) партії продукту № 2, збагаченого ароматизатором, напівфабрикат піддавали додатковому пресуванню.

Фізико – хімічні показники зразків від контрольної та дослідної партій сирної маси

| Найменування зразків від двох партій сирної маси | Найменування показників | | | | |
|---|-------------------------|------------------|--------|-------|----------|
| | Кислотність, °Т | Масова частка, % | | | |
| | | Жиру | Вологи | Білка | Сахарози |
| Контрольної № 1 із додаванням цукру-піску | 200 | - | 50,0 | 17,5 | 10,0 |
| Дослідний № 2, збагачений ароматизатором та цукром-піском | 204 | - | 50,0 | 17,5 | 10,0 |

Таблиця 2

Органолептична оцінка зразків

| Найменування показників | Характеристика зразків від партій введення до її складу | |
|-------------------------|---|---|
| | Контрольної (К) партії № 1 (без ароматизатора) із цукром-піском | Дослідної (Д) № 2, збагаченої ароматизатором та цукром-піском |
| Смак і аромат | Не виражений пустий, в міру солодкий | Лимонний смак і аромат, в міру солодкий |
| Консистенція | Однорідна, в міру щільна | Однорідна, щільна |
| Колір | Жовтий, рівномірний за всією масою | Жовто-зелений рівно-мірний за всією масою |

Фізико-хімічні показники контрольної та дослідної партій сирної маси представлені в таблиці 1, а їх органолептична оцінка – у таблиці 2.

Із даних таблиці 1 видно, що при однаковому вмісті вологи в зразках, відібраних від контрольної та дослідної партій сирної маси, титрована кислотність зразка від дослідної партії № 2 була на 4 °Т вищою, ніж (К) в контролі. Проте, на смак незначне збільшення титрованої кислотності в зразку від дослідної партії продукту (Д) № 2, порівняно з контролем не відчувалося. Фізико-хімічні та мікробіологічні дослідження нежирної білкової маси показали також, високий в ній вміст білка 17,5 %, відносно невисоку титровану кислотність – 200 °Т (при гранично-допустимій кислотності 225 °Т для сиру кисло-молочного нежирного); високу мікробіологічну чистоту за показником титру бактерій кишкової палички; низький вміст жиру, який в нежирних молочних продуктах – не нормується. Це дає підстави для її повторного використання під час виготовлення нового асортименту сирної маси та/ або сиркових виробів.

Органолептичні показники контрольної та дослідної партій сирної маси наведено в таблиці 2.

Дані таблиці 2 свідчать про те, що підсиленню смакових переваг та кольору в зразку від дослідної (Д) партії продукту № 2, порівняно з аналогічними показниками у (К) контролі, сприяло внесення в білкову масу оптимальної дози ароматизатора у кількості 0,0005% із смаком і запахом лимона. При цьому буряковий цукор, введений в обидві контрольну та дослідну партії продукту в кількості 10 мас. %, надавав обом партіям продукту приємний солодкий смак. Жовтий колір зразка від дослідної (Д) партії № 2 змінився на жовто-зелений. Такі нові товарознавчі характеристики продукту дали підстави, щодо віднесення дослідної (Д) партії сирної маси до нового асортименту сирних мас. А переваги,

щодо низької калорійності – віднести до дієтичних продуктів харчування, здатних поповнити раціон харчування людей, що слідкують за своїм здоров'ям чи страждають від ожиріння.

Зраки від контрольної та дослідної партій сирної маси були направлені на зберігання у холодильну шафу при низьких позитивних температурах. Після 24 годинного зберігання зразка від дослідної партії (Д) сирної маси № 2 у холодильній шафі при температурі 10 °С, в ньому відбулося зменшення масової частки вологи на 0,5%, порівняно з контролем. При цьому спостерігалось незначне відділення сироватки. Титрована кислотність зразків від обох контрольної (К) та дослідної (Д) партій продукту підвищилася, відповідно, на 2 та 4 °Т, що хоча це і не відбилося на погіршенні смакових відчуттів досліджуваних зразків, проте викликало деяке занепокоєння.

Висновки.

1. Використання ароматизаторів фірми ТОВ «Скорпіо-Аромат» при переробці білкових мас на сирні маси, сприяє поліпшенню їх органолептичних показників (смаку і аромату та кольору).

2. Сирна маса є безпечним продуктом високої мікробіологічної чистоти із відсутністю технічно-шкідливої та патогенної мікрофлори. А низький вміст жиру в продукті свідчить про можливість включення в раціон харчування людей, які страждають на ожиріння або стежать за своїм здоров'ям.

3. Виявлена хоча і незначна, проте негативна дія ароматизаторів, спрямована на підвищення титрованої кислотності та підсилення процесу синерезису дослідної партії продукту, при її зберіганні, викликає необхідність пошуків альтернативних дешевих природних рослинних ароматизаторів та/або підбору стабілізаторів та проведенню подальших досліджень у вище вказаному напрямку.

Бібліографічні посилання:

1. Carochi, M., Barreiro, M. F., Morales, P., Ferreira, I. C. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 13(4), 377-399. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12065>

2. Ryzhkova, T.M. (2018). Razrabotka nauchnykh osnov effektivnogo ispol'zovaniya koz'yego moloka v biotekhnologiyakh fermentirovannykh belkovykh produktov: Dissertatsionnaya rabota. [Development of scientific bases for the effective use of goat milk in biotechnologies of fermented protein products]. Kiyev: Kiyevskiy politekhnicheskyy institut imeni Igorya Sikorskogo. (in Ukrainian).

3. Hrek, O.V., Polishchuk, H.YE., Onopriyko, O.O. (2011). Tekhnolohiya produktiv zi znezhyrenoho moloka, molochnoyi syrovatky i maslyanky: navch. posib. [Technology of skimmed milk, whey and butter products]. Kiyev: National University of Food Technology. (in Ukrainian).

4. Ba, H., Hwang, I., Jeong, D., Touseef, A. (2012). Principle of Meat Aroma Flavors and Future Prospect. Latest Research into Quality Control. DOI: 10.5772/51110.

5. Lotfy, S. N., Fadel, H. H., El-Ghorab, A. H., & Shaheen, M. S. (2015). Stability of encapsulated beef-like flavourings prepared from enzymatically hydrolysed mushroom proteins with other precursors under conventional and microwave heating. Food chemistry, 187, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.027>.

Ryzhkova T. M., Doctor of Technical Sciences, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

Improving the taste and aroma of the protein mass obtained in the manufacturing process of the «SPH-B» bio preparation

The article deals with the need to use aromatic additives when creating a new range of food products. It is known to use the biopreparation «Whey food vapor product», the action of which is aimed at accelerating the ripening process of hard rennet cheeses. Sourdough on skim milk is used as a basis for its production. After its heat treatment and filtering, the liquid serum part, which is exactly the biological preparation, and the protein mass are obtained, respectively. The absence of pronounced taste and smell in this high-protein semi-finished product, which can be classified as «empty», limits its further use as a food product. This makes it necessary to use technological methods aimed at improving its taste and aroma. In our experiments, the protein mass was divided into 2 parts. To one part – experimental (D) the flavoring of LLC «Scorpio -Aroma» was added, which has a lemon taste and aroma, in doses recommended by its manufacturer (0,5 kg per 1000 kg) of finished product and sugar – sand in the amount of 10 wt.%. And to the second part – the control (K) only sugar – sand in the same amount was introduced. To obtain the same moisture content in both batches of the product, the experimental batch of protein mass was subjected to additional pressing. It was established that the use of an aromatic additive, immediately after the end of the manufacturing process, contributed to an increase in the titrated acidity of the experimental (D) by 4 °T, compared to the control. After 24 hours of storage in a refrigerator at a temperature of 8 °C, the content of the mass fraction of moisture in the experimental batch (D) turned out to be 0.5% lower, compared to the similar indicator in the (K) control (49.5% vs. 50% in control). The decrease in the moisture content in the pre-scented (D) batch of cheese mass No. 2 was accompanied by a slight separation of the whey. On the basis of the above, it was established that the curd, enriched with flavoring and with the introduction of sugar-sand according to the recipe in the amount of 10%, contained 17.5% protein, a low titrated acidity of 200 °T (225 oT in sour-milk cheese – in analogue of curd mass), yellow-green color, uniform dense consistency. All these characteristics and the absence of technically harmful and pathogenic microflora in its composition, the low fat content in low-fat dairy products, which is not regulated, give grounds for including cheese mass enriched with flavoring in the diet of people suffering from binge eating or following your health.

Key words: cow's milk, biological preparation, protein mass, flavoring, taste, granulated sugar, aroma.

РОЗРОБЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДІВ ОБЛІПИХИ

Самілик Марина Михайлівна

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-4826-2080

maryna.samilyk@snau.edu.ua

Шешеня Ігор Олексійович

магістр

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-4826-2080

isheshenia5@gmail.com

У статті наведено результати експериментального дослідження переробки плодів дикорослої обліпихи (*Hirporrhoe rhamnoides L.*), які було зібрано на території Сумської області в жовтні 2022 року. Метою дослідження є розробка раціонального способу переробки плодів обліпихи, який дозволить зберегти вміст вітаміну С. Об'єктом даного дослідження є спосіб переробки плодів обліпихи, який включає їх попереднє заморожування ($t=-18\pm 2^\circ\text{C}$), дефростацію ($t=4\pm 2^\circ\text{C}$), осмотичну дегідратацію ($t=50\pm 5^\circ\text{C}$), сушіння ($t=55\pm 5^\circ\text{C}$) та тонкодисперсне подрібнення. В якості осмотичного розчину використовували розчин сахарози концентрацією 70%. Матеріальний баланс процесу розраховували за зміною маси в процесі зневоднення. Досліджували тривалість процесу сушіння у інфрачервоних сушарках із застосуванням попередньої дегідратації та без неї. Вміст вітаміну С у експериментальних зразках (порошках та осмотичних розчинах) вивчали за допомогою високоефективної рідинної хроматографії. Встановлено, що заморожування змінює структуру клітинного соку і призводить до часткового видалення вологи при дефростації плодів (1,5% до маси плодів). В процесі осмотичної дегідратації частина клітинного соку переходить в осмотичний розчин, зменшуючи вологість плодів обліпихи на 38%. Розрахунок матеріального балансу показав, що при застосуванні заморожування, дефростації та осмотичної дегідратації із плодів обліпихи видаляється 41% вологи. Це дозволяє скоротити енерговитрати на процес сушіння на 6,75 кВт за один цикл роботи обладнання. Досліджено вплив запропонованого режиму зневоднення на вміст вітаміну С у похідних переробки обліпихи. Виявлено, що у порошках із плодів обліпихи залишається 3,81 мг/100 г вітаміну С, а в осмотичний розчин переходить 0,37 мг/100 г. Таким чином, похідні переробки плодів обліпихи можна використовувати в якості натуральних харчових добавок.

Ключові слова: осмотична дегідратація, заморожування, дефростація, сушіння, подрібнення, *Hirporrhoe rhamnoides L.*, вітамін С, матеріальний баланс, енерговитрати.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.15>

Вступ. Пошук раціонального способу переробки рослинної сировини є актуальним питанням для сучасної харчової науки. При цьому важливе значення має не лише вибір сировини, а й режими її переробки. Необхідно вирішувати одразу декілька важливих задач: збереження органолептичних властивостей, біологічної цінності продукту переробки, зменшення енергетичних витрат.

На основі рослинної сировини виробляється велика кількість харчових добавок. Більшість смако-ароматичних добавок виробляються у порошковій формі, яка є оптимальною для застосування (Fitzpatrick & Ahrné, 2005). Зазвичай для отримання порошкової форми сировини попередньо її висушують та подрібнюють. Такий спосіб є ефективним, проте для сушіння використовуються високі температури, при цьому відбуваються зміни хімічного складу сировини. Спосіб температурної обробки впливає на якісні показники готового продукту, такі як: смак, аромат, в'язкість, твердість, мікробне псування та ферментативну активність (Izli, Izli, Taskin, 2017). Кожен спосіб має свої переваги та недоліки. При цьому готовий продукт відрізняється за фізико-хімічними та поживними властивостями, мікроструктурою

(Saparino et al., 2012). В процесі термічної обробки цукровмісної сировини відбувається реакція Майяра (реакція меланоїдиноутворення). Під час цієї реакції відбувається хімічне перетворення сировини, при цьому утворюються речовини різної природи (барвні речовини, ароматоутворюючі сполуки та інш.). Ці речовини можуть мати неприємний аромат, виступати як антиоксиданти, проявляти отруйні властивості (Jousse et al., 2006).

Альтернативою теплової обробці є біотехнологічні процеси. В основі яких лежить ферментація або біотрансформація відповідних природних попередників з використанням мікроорганізмів та ферментів (Forti et al., 2018; Swain et al., 2014). Проте, при цьому повністю змінюються її органолептичні властивості.

Важливим етапом виробництва смако-ароматичних добавок є вибір сировини. Дедалі частіше використовуються похідні переробки такі, як меляса, шкірка ягід, фруктів та овочів, шкаралупа, відходи морепродуктів та м'яса, відпрацьовані зерна кави та какао-бобові (De Oliveira Felipi L., 2017). Спостерігається тенденція до використання в структурі харчування нетрадиційної сировини, в тому числі, різних видів дикорослої сиро-

вони. Дикорослі види рослин мають винятковий природний потенціал і здавна використовуються для лікування грипу, застуди, запалень і подібних захворювань. У харчуванні людини вони використовуються у свіжому та переробленому вигляді.

Серед дикорослої сировини варто виділити обліпиху (*Hippophae rhamnoides* L.), яка має винятковий потенціал до застосування у харчовій промисловості. Обліпиха є органічним продуктом, що містить багато ліпофільних компонентів (Wei et al., 2019). До складу ягід обліпихи входять незамінні жирні кислоти, амінокислоти, фітостерини та флавоноїди, вітаміни, каротиноїди, пігменти та ліпопротеїди (Zheng et al., 2017; Bal et al., 2011). Вони містять водорозчинні (С, РР, В1, В6, холін), жиророзчинні вітаміни, провітаміни (токофероли, каротиноїди та вітамін К). Обліпиха ціниться за антиоксидантну, кардіопротекторну, антиатерогенну, протидіабетичну, гепатопротекторну, антиканцерогенну, імуномодулюючу, протівірусну, антибактеріальну, протизапальну та судинорелаксуючу дію (Oomah, 2003). Дослідження показали, що в плодах обліпихи міститься 4,5% каротиноїдів, 2,8% – органічних кислот, 2,6% цукрів, серед яких переважають сахароза, глюкоза, фруктоза. Вміст пектинів становить до 0,8% маси плоду (Ficzek et al., 2018)

За іншими даними ягоди обліпихи багаті азотистими речовинами (до 0,3%). У 100 г ягід обліпихи міститься вітамін С (до 1,05 мг), каротин (11 мг), вітамін Е (7-18 мг), Р (1 мг), В1 (0,35 мг), В2 (0,3 мг), В6 (0,79 мг), РР і К – 0,8-1,5 мг відповідно. Ягоди обліпихи є одним з джерел вітаміну Е. Мінеральні елементи представлені (мг/100 г): калієм – 180-220, кальцієм – 9-16, магнієм – 7-12, фосфором – 12-17, залізом – 6-14, а також марганцем, цинком, алюмінієм, титаном, кремнієм (He et al., 2019).

Метою дослідження є розробка раціонального способу зневоднення плодів обліпихи, який дозволить зберегти вітамін С у похідних продуктах.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити наступні задачі:

- розрахувати матеріальний баланс зневоднення плодів обліпихи за запропонованим способом;
- розрахувати енергетичні витрати на процес зневоднення;
- визначити кількість вітаміну С, який переходить у похідні продукти при зневодненні плодів обліпихи.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводилися на кафедрі технологій та безпечності харчових продуктів Сумського національного аграрного університету. В якості предмету дослідження використовували плоди *Hippophae rhamnoides* L. зібрані на території Сумської області у жовтні 2022 року.

Ретельно відмивали, просушували та заморожували (-18±2°C) плоди обліпихи. Дефростовані плоди змішували із розчином сахарози концентрацією 70% (гідромодуль 1), нагрітим до 65±5°C. Процес дегідратації проводили в лабораторній установці власного виготовлення протягом 60 хв. При цьому суміш ретельно перемішували за постійної температури 50±5°C. Частково зневоднені плоди відокремлювали від осмотичного розчину та направляли на висушування в лабораторній інфрачер-

воній сушарці при температурі 60±5°C до масової частки сухих речовин у висушеному продукті 7-8%. Паралельно було проведено висушування дефростованих ягід без попередньої осмотичної дегідратації. Висушені похідні плодів обліпихи подрібнювали у порошки за допомогою лабораторного дискового млина ЛЗМ-1 до крупності, яка забезпечує повний прохід матеріалу через плетене латунне сито (0,45 мм).

Враховуючи, що осмотична дегідратація є періодичним процесом, витрату компонентів визначали в одиницях маси за цикл роботи апарату. Згідно з законом збереження маси складали рівняння матеріального балансу.

Матеріальний баланс процесів заморожування та дефростації розраховували за формулою:

$$m_{СП} = m_{ДП} + m_{КС}, \quad (1)$$

де $m_{СП}$ – маса свіжих плодів, г;

$m_{ДП}$ – маса дефростованих плодів, г;

$m_{КС}$ – маса виділеного клітинного соку, г.

Матеріальний баланс процесу осмотичної дегідратації розраховували за формулою:

$$m_A + m_{ДП} = m_{ЧЗП} + m_D, \quad (2)$$

де m_A – маса цукрового розчину, г;

$m_{ДП}$ – маса свіжих дефростованих плодів, г;

$m_{ЧЗП}$ – маса частково зневоднених плодів, г;

m_D – маса осмотичного розчину після дегідратації, г.

Матеріальний баланс процесу сушіння розраховували за формулою:

$$m_{ЧЗП} = m_{СП} + m_V, \quad (3)$$

де $m_{ЧЗП}$ – маса частково зневоднених плодів, г;

$m_{СП}$ – маса сухих плодів, г;

m_V – маса видаленої вологи, г.

Енергетичні витрати розраховували за фактичною потужністю обладнання, яке застосовували для зневоднення (апарату осмотичної дегідратації та інфрачервоної сушарки).

Вміст вітаміну С у експериментальних зразках (порошках та осмотичних розчинах) вивчали за допомогою ВЕРХ (Agilent Technologies 1200, детектор з UV-Vis Abs, детекція при $\lambda=240$ і 300 нм, колонка C18 (Zorbax SB-C18 4,6×150 мм, 5 мкм)). Використовували наступну мобільну фазу: метанол і 0,02М розчин KH_2PO_4 (20:80). Застосовували ізократичну обробку зі швидкістю елюювання 1 мл/хв і температурою аналітичної колонки 40 оС. Об'єм ін'єкції 20 мкл. Екстракцію зразків проводили методом додавання мобільної фази (20 мл) до порошкоподібних (1 гр) та рідких зразків (5 мл). Отримані зразки центрифугували тричі (центрифуга ОПН-12) при 10000 об/хв протягом 10 хвилин. Екстракти фільтрували використовуючи фільтр PTFE Agilent 0.45µm.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розрахунок матеріального балансу процесу зневоднення плодів дикорослих рослин представлено в таблиці 1.

Із таблиці 1 видно, що незначна частина вологи втрачається при заморожуванні та дефростації (1,5 г). Це відбувається за рахунок зміни структури води в клітинах плодів. За рахунок тиску кристалів льоду на оболонки клітин, особливо на ділянках їх найбільшого скупчення, частково руйнується мікроструктура плодів. Як наслідок,

при дефростації заморожених плодів вологоутримуюча здатність тканин знижується, зростає вологовіддача і витікання із зруйнованих клітин. Для заморожування в процесі дослідження використовували побутову морозильну камеру. Негативним є той факт, що разом із клітинним соком, який виділяється при дефростації, від плодів виділяються деякі біологічно активні компоненти. Проте, цих втрат можна уникнути, змішуючи виділений сік із відпрацьованим осмотичним розчином. І використовуючи цей похідний продукт для збагачення різноманітних харчових продуктів (цукру, безалкогольних, алкогольних напоїв та інш.).

При осмотичній дегідратації із плодів обліпихи видаляється 39,5% вологи, що дозволяє значно скоротити тривалість сушіння. Загальна кількість вологи видаленої за рахунок застосування заморожування та осмотичної дегідратації становить 41%.

Тривалість процесу сушіння в інфрачервоних сушарках без застосування осмотичної дегідратації 7 год. Враховуючи, що потужність інфрачервоних сушарок 1,75 кВт на годину, загальні витрати на процес зневоднення без застосування осмотичної дегідратації становлять 12,25 кВт.

Потужність установки для осмотичної дегідратації становить 2 кВт на годину. Тривалість сушіння із застосуванням попередньо осмотичної дегідратації скорочується до 2 годин, тобто витрати енергії на процес сушіння становлять 3,5 кВт.

Результати розрахунку загальних витрат на процес зневоднення плодів обліпихи за різних умов представлено на рис. 1.

Загальні витрати на зневоднення плодів обліпихи при застосуванні осмотичної дегідратації знижуються на 6,75 кВт за один цикл роботи обладнання.

Одним із завдань дослідження було дослідження вмісту вітаміну С у похідних переробки плодів обліпихи. Запропонований спосіб зневоднення із застосуванням осмотичної дегідратації передбачає застосування температур, при яких вітаміни не руйнуються. Результати дослідження вмісту вітаміну С представлено на рис. 2.

Із рисунку видно, що у порошках із плодів обліпихи концентрується досить велика кількість вітаміну С, що робить його привабливою сировиною для виробництва вітамінізованих харчових продуктів. Частина вітаміну С переходить разом із клітинним соком у осмотичний розчин, це підтверджує доцільність застосування даного похідного продукту для збагачення цукру (Samilyk et al., 2022).

Висновки. За результатом дослідження було встановлено:

- При застосуванні запропонованого способу попереднього зневоднення плодів обліпихи, який передбачає заморожування, дефростацію та осмотичну дегідратацію, видаляється 41% вологи, що значно скорочує витрати на процес сушіння;
- При застосуванні осмотичної дегідратації енерговитрати на зневоднення плодів обліпихи знижуються на 6,75 кВт;
- Після осмотичної дегідратації у похідних переробки плодів обліпихи зберігається вітамін С.

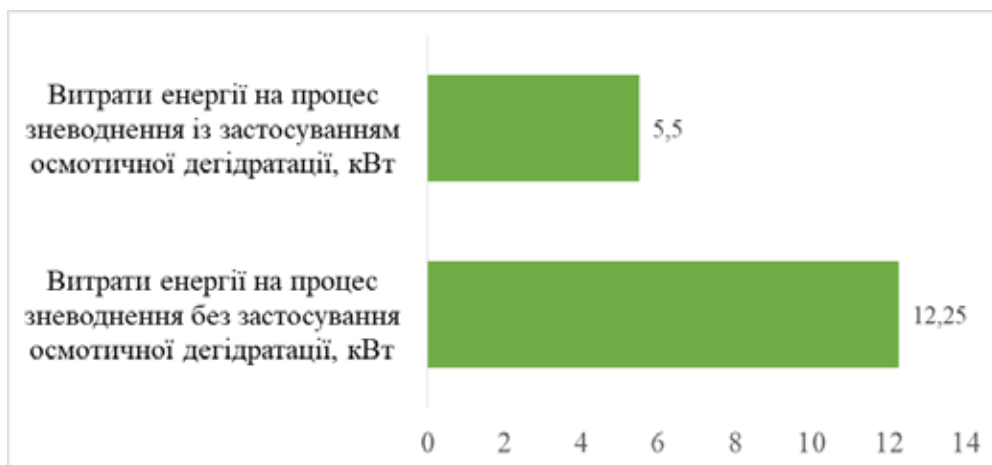


Рис. 1. Витрати енергії на процес зневоднення

Таблиця 1

Результати розрахунку матеріального балансу зневоднення плодів обліпихи

| Найменування сировини | Маса, г |
|--|---------|
| Вологи виділеної із плодів після заморожування та дефростації | 1,5 |
| Вологи виділеної в результаті осмотичної дегідратації | 38,0 |
| Вологи видаленої за рахунок заморожування та осмотичної дегідратації | 39,5 |
| Вологи виділеної в результаті сушіння | 54,2 |
| Загальна кількість видаленої вологи | 93,7 |

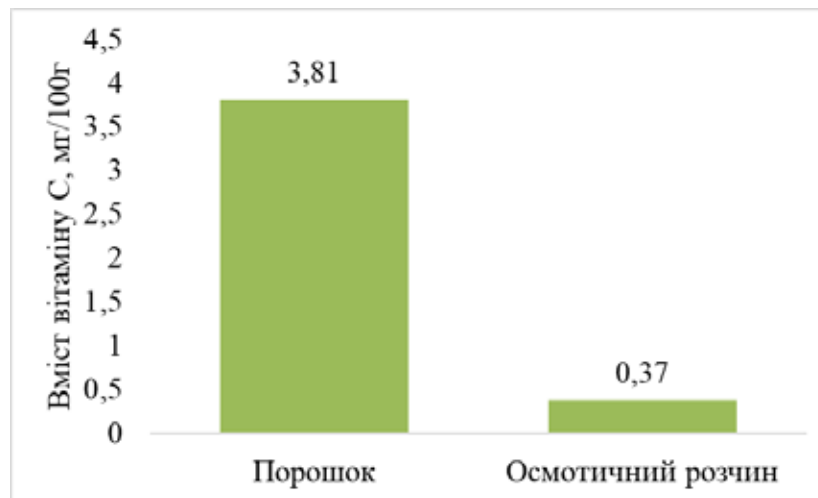


Рис. 2. Вміст вітаміну С у похідних переробки плодів обліпихи

Бібліографічні посилання:

1. Fitzpatrick, J.J., & Ahrné, L. (2005). Food powder handling and processing: Industry problems, knowledge barriers and research opportunities. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(2), 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.03.014>.
2. Izli, N., Izli, G., Taskin, O. (2017). Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Science and Technology*, 37(4), 604–612. doi: <https://doi.org/10.1590/1678-457x.28316/>.
3. Caparino, O.A., Tang, J., Nindo, C.I., Sablani, S.S., Powers, J.R., Fellman, J.K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135-148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>.
4. Jousse, F., Jongen, T., Agterof, W., Russell, S., Braat, P. (2006). Simplified kinetic scheme of flavour formation by the Maillard reaction. *Journal of Food Science*, 67, 2534-2542. (in English) DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08772.x
5. Forti, L., Cramarossa, M.R., Filippucci, S., Tasselli, G., Turchetti, B., Buzzini, P. (2018). Nonconventional yeast-promoted biotransformation for the production of flavor compounds. *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*. Academic Press, 165–187. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00006-5>.
6. Swain, MR, Anandharaj, M, Ray, RC, Parveen, Rani, R. (2014). Fermented fruits and vegetables of Asia: A potential source of probiotics. *Biotechnology Research International*, 1–14. doi: 10.1155/2014/250424.
7. De Oliveira Felipi, L., de Oliveira, A. M., Lemos Bicas, J. (2017). Bioaroma – perspectives for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*, 26, 141–153. DOI:10.1016/j.tifs.2017.02.005.
8. Wei, E, Yang, R, Zhao, H, Wang, P, Zhao, S, Zhai, W. (2019). Microwave-assisted extraction releases the antioxidant polysaccharides from seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 13(123), 280–290. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.074>.
9. Zheng, L., Shi, L.-K., Zhao, C.-W., Jin, Q.-Z., Wang, X.-G. (2017). Fatty acid, phytochemical, oxidative stability and in vitro antioxidant property of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) oils extracted by supercritical and subcritical technologies. *LWT*, 86, 507–513. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.042>.
10. Bal, L.M, Meda, V, Naik, S.N. (2011). Santosh Satya Sea buckthorn berries: A potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmeceuticals / Lalit M. et al. *Food Research International*, 44(7), 1718-1727 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.002>.
11. Oomah, B. D. (2003) Sea buckthorn lipids. Li T. S. C., Beveridge T. (Eds) *Sea buckthorn (Hippophae rhamnoides): Production and utilization*. NRC Research Press, Ottawa, ON, 51–68.
12. Ficzek, G., Mátravölgyi, D., Furulyás, C., Rentsendavaa, I., Jócsák, D., Papp, G., Simon, G., Végvári, M., Stéger-Máté. (2018). Analysis of bioactive compounds of three sea buckthorn cultivars (*Hippophae rhamnoides* L. 'Askola', 'Leikora', and 'Orangeveja') with HPLC and spectrophotometric methods. *European Journal of Horticultural Science*, 84(1), 31-38 (in English) DOI:10.17660/eJHS.2019/84.1.5.
13. He, L., Wang, Ch., Shi, H., Zhou, W., Zhang, O., Chen, X. (2019) Combination of steam explosion pretreatment and anaerobic alkalization treatment to improve enzymatic hydrolysis of *Hippophae rhamnoides*. *Bioresource technology*, 289, 121693. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121693>.
14. Samilyk, M., Kornienko, D., Bolgova, N., Sokolenko, V., Boqomol, N. (2022). Using derivative products from processing wild berries to enrich pressed sugar. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (11 (117)), 39–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258127>

Samilyk M. M., PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Sheshenya I. O., Master, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Development of a rational method of processing the fruits of sea-buckthir

The article presents the results of an experimental study of the processing of fruits of wild sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides L.*). The fruits were collected on the territory of the Sumy region in October 2022. The aim of the study is to develop a rational method for processing sea buckthorn fruits, which will preserve the content of vitamin C. The object of this study is a method for processing sea buckthorn fruits, which includes their preliminary freezing ($t=-18\pm 2^{\circ}\text{C}$), defrosting ($t=4\pm 2^{\circ}\text{C}$), osmotic dehydration ($t=50\pm 5^{\circ}\text{C}$), drying ($t=55\pm 5^{\circ}\text{C}$) and fine grinding. A sucrose solution with a concentration of 70% was used as an osmotic agent. The material balance of the process was calculated from the change in mass during dehydration. The duration of the drying process in infrared dryers with and without pre-dehydration was studied. The content of vitamin C in experimental samples (powders and osmotic solutions) was studied using high performance liquid chromatography. It has been established that freezing changes the structure of cell sap and leads to partial removal of moisture during defrosting of fruits (1.5% by weight of fruits). In the process of osmotic dehydration, part of the cell sap passes into the osmotic solution, reducing the moisture content of sea buckthorn fruits by 38%. The calculation of the material balance showed that when freezing, defrosting and osmotic dehydration are used, 41% of moisture is removed from sea buckthorn fruits. This makes it possible to reduce energy consumption for the drying process by 6.75 kW per one cycle of equipment operation. The effect of the proposed dehydration regimen on the content of vitamin C in sea buckthorn derivatives was studied. It was found that 3.81 mg/100 g of vitamin C remains in powders from sea buckthorn fruits, and 0.37 mg/100 g passes into the osmotic solution. Thus, derivatives of sea buckthorn fruit processing can be used as natural food additives.

Key words: osmotic dehydration, freezing, defrosting, drying, grinding, *Hippophae rhamnoides L.*, vitamin C, material balance, energy expenditure.

РОЗРОБКА НАТУРАЛЬНОЇ СМАКОАРОМАТИЧНОЇ ДОБАВКИ «MEAT FLAVOR»

Синенко Тетяна Павлівна

асистент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-5300-5142

tetiana.synenko@snau.edu.ua

Болгова Наталія Вікторівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-0201-0769

natalia.bolhova@snau.edu.ua

У статті описано технологію виробництва натуральних смакоароматичних добавок з унікальними та стабільними сенсорними властивостями. Технологія добавок у цьому дослідженні ґрунтується на утворенні смакоароматичних речовин шляхом взаємодії редуруючих цукрів та вільних амінокислот при термічній обробці гідролізатів молочно-рослинних екстрактів (реакція Майяра). Як результат – накопичення проміжних та кінцевих продуктів реакції, які володіють ароматичними й смаковими характеристиками, а також можлива зміна кольору продуктів реакції. Для виробництва натуральних смакоароматичних добавок використано молочно-рослинний екстракт із порошку кукурудзяних качанів, в якості екстрагенту вибрано молочну сироватку. Для отримання попередників смаку й аромату (вільних амінокислот і низькомолекулярних пептидів) молочно-рослинний екстракт гідролізували за допомогою ферментного препарату «Протолад». В роботі досліджували вплив параметрів теплової обробки (реакції Майяра) гідролізатів молочно-рослинних екстрактів: температура – (110–140) °С; тривалість – (5–35) хв. Встановлено, що при збільшенні тривалості теплової обробки вміст амінного азоту в зразках зменшуються за всіх дослідних температурних режимів. Найменшою втратою вмісту амінного азоту характеризуються зразки оброблені за температури 110 °С тривалістю 35 хв. Найбільшим вмістом амінного азоту (на 45,2 % від початкового значення) характеризуються зразки оброблені за температури 140 °С тривалістю 35 хв. Досліджено, що за температури 120 °С і тривалості 25 хв. відбувається зменшення вмісту цукрів на 22 % від початкового значення. При підвищених температурних режимів (130–140) °С і тривалості теплової обробки до 35 хв. вміст цукрів зменшується на 36–40 % від початкового значення. Дослідження зміни інтенсивності забарвлення дозволяє визначити на якій стадії знаходиться реакція Майяра, адже потемніння зразків при теплової обробці говорить про утворення кінцевих продуктів реакції (меланоїдинів). Останні є не бажаними, оскільки втрачається біологічна і харчова цінність. Результати визначення оптичної щільності зразків показали, що показник оптичної щільності змінюється з 15 хв. за температур (110–140) °С. Високі показники оптичної щільності в зразках оброблених протягом 35 хвилин за температури 130–140 °С, вказують на початок процесу карамелізації (утворення меланоїдинів). Сенсорним аналізом за обраними дескрипторами встановлювали зміну в зразках при теплової обробці характеристик смаку та аромату від бажаних до неприємних. Узагальнені результати сенсорного аналізу зразків після теплової обробки показують, що процес утворення бажаних смакових і ароматичних характеристик відбувається при температурі 120 °С при обробці 25 хв. При цьому переважають дескриптори, як подібний м'ясному і бульйонному, профіль запаху і смаку зразків максимально наближений до «ідеального» профілю. Для забезпечення стійкості смакоароматичного профілю добавки при зберіганні та зручності дозування і використання в різноманітних харчових продуктах в технології смакоароматичної добавки використано мальтодекстрин (ДЕ 2–12). Розроблено технологічну схему виробництва натуральних смакоароматичних добавок «Meat flavor».

Ключові слова: молочна сироватка, рослинна сировина, екстракти, гідролізати, теплова обробка, реакція Майяра, натуральні смакоароматичні добавки, технологічні характеристики, органолептичні показники.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.16>

Вступ. Останнім часом в харчовій промисловості спостерігається зростаючий інтерес до натуральних функціональних продуктів харчування (Taghah, 2022). Зростає тенденція до збільшення вмісту клітковини та біологічно активних речовин у продуктах харчування, уникнення синтетичних харчових добавок, зменшення вмісту жирів, солі та цукру, а також суттєвої зміни смаку та аромату кінцевого продукту (Lobine et al., 2022).

Аналіз інформаційних даних показує, що сьогодні більшість виробників харчових продуктів відмовляються

від використання штучних харчових добавок. Така тенденція пов'язана з тим, що європейські країни, в тому числі й Україна, на законодавчому рівні заборонили використання багатьох штучних добавок у продуктах харчування (Ukrainets & Frolova, 2019).

Науковцями всього світу ведуться пошуки способів виробництва натуральних смакоароматичних добавок. Такі дослідження зосереджені на розширенні сировинної бази та стабільності органолептичних і якісних показників добавок.

Згідно з Регламентом (ЄС) № 1334/2008, термін «натуральний» може використовуватися для опису смакоароматичних добавок, лише якщо до складу смакоароматичної добавки входять смакоароматичні препарати та/або натуральні смакоароматичні речовини; у яких смакоароматичний компонент містить тільки натуральні смакоароматичні речовини.

Актуальності набуває використання вторинної сировини в отриманні смакоароматичних добавок. М'яса, ягоди та фрукти, овочева шкірка, мушлі, рибні та м'ясні відходи, відпрацьовані кавові та какао-боби вважаються перспективними попередниками (прекурсорами) для отримання смакоароматичних речовин (De Oliveira Felipi et al., 2017).

Вчені (Shang et al., 2020) розробили смакоароматичну добавку на основі білкового шроту насіння півонії (похідна сировина при виробництві олії із насіння півонії) шляхом попереднього гідролізу білкових сполук і подальшої термічної обробки. Результатом стала добавка з м'ясними, «умами», карамельними та солоними смакоароматичними характеристиками.

Вчені (Wei et al., 2018) розробили смакоароматичний препарат із м'ясним ароматом на основі гідролізату білка льону. Іншими науковцями (Zha et al., 2017) було створено м'ясний ароматизатор із смаженими нотками на основі горохового білка.

У роботі (Synenko et al., 2022) досліджено можливість утворення смакоароматичних речовин під час термічної обробки сумішей гідролізатів сироваткових білків та цукрів. Однак на сьогодні існує потреба в розробці економічно вигідних з точки зору виробництва та використання натуральних смакоароматичних добавок.

Мета роботи: розробити натуральну смакоароматичну добавку «*Meat flavor*» із похідних переробки молочної та рослинної сировини.

Матеріали і методи досліджень. Сировиною для натуральної смакоароматичної добавки було використано молочно-рослинний екстракт отриманий за способом, описаним у патенті UA151761U: порошок кукурудзяних качанів екстрагують молочною сироваткою. Для отримання попередників смаку і аромату (вільних амінокислот і низькомолекулярних пептидів) молочно-рослинний екстракт гідролізували за допомогою ферментного препарату «*Протопад*» (бактеріальна лужна протеаза отримана із селекційних штамів *Bacillus subtilis*, виробник ДП «Ензим», Україна) за параметрів: співвідношення фермент:білок – 1:(8,7±0,1), температура – (60,0±2,0) °С, тривалість гідролізу – (54,0±1,0) хв.

Теплову обробку гідролізату молочно-рослинного екстракту здійснювали в термостатній масляній ванні з магнітним перемішуванням за параметрів: температура – від 110 до 130 °С (з інтервалом 10); тривалість – від 5 до 35 хв. Далі зразки негайно охолоджували в крижаній ванні до температури (20,0±2,0) °С і за необхідності зберігали в холодильній камері. Контрольні параметри фіксувалися через 5, 15, 25, 35 хв.

В зразках визначали вміст амінного азоту (за методом Серенсена), вміст загального цукру (перманганатним методом), оптичну щільність (спектрофотометричним методом при довжині променів 420нм (A420)).

Сенсорно-профільним методом в зразках оцінювали зміну/появу смаку і запаху. Для проведення профільної оцінки запаху і смаку зразків експертна комісія складалася з 5 осіб. При проведенні сенсорного аналізу комісією експертів було визначено наступні дескриптори: смаку – солодкий, кислий, солоний, терпкий, «умами»; аромату – подібний м'ясному, подібний бульйонному, карамельний, сироватковий. На основі результатів сенсорної аналізу побудовані бажані («ідеальні») профілі натуральних смакоароматичних добавок. Інтенсивність кожного дескриптору та загальне враження визначали за допомогою 5-бальної шкали.

Результати досліджень. На інтенсивність утворення смакоароматичних речовин впливають такі технологічні параметри теплової обробки (реакції Майяра), як температура і тривалість. Зазначені параметри дозволяють контролювати вихід та баланс продуктів реакції Майяра.

В роботі досліджували вплив параметрів теплової обробки гідролізатів молочно-рослинних екстрактів: температура – (110–140) °С; тривалість – (5–35) хв.

На першому етапі визначали вплив температурних режимів і тривалості обробки гідролізатів молочно-рослинних екстрактів на зміну вмісту амінного азоту і вмісту цукру. Результати представлено на рис. 1 і 2.

Дані представлені на рис. 1 показують, що при збільшенні тривалості теплової обробки вміст амінного азоту в зразках зменшуються за всіх дослідних температурних режимів. Найменшою втратою вмісту амінного азоту (на 22–26 % від початкового значення) характеризується зразки оброблені за температури 110 °С тривалістю 35 хв. Найбільшим вмістом амінного азоту (на 45,2 % від початкового значення) характеризуються зразки оброблені за температури 140 °С тривалістю 35 хв.

Зауважимо, що під час теплової обробки (реакції Майяра) можуть протікати реакції як взаємодії амінокислот з цукрами, так і розпад амінокислот. Дослідження стадії взаємодії амінокислот з цукрами встановлювали при одночасному визначенні вмісту цукрів в зразках (рис. 2).

Результати (рис. 2) показують, що за температури 120 °С і тривалості 25 хв. відбувається зменшення вмісту цукрів на 22 % від початкового значення. При підвищенні температурних режимів (130–140) °С і тривалості теплової обробки до 35 хв. вміст цукрів зменшується на 36–40 % від початкового значення.

Дослідження зміни інтенсивності забарвлення дозволяє визначити на якій стадії знаходиться реакція Майяра, адже потемніння зразків при теплової обробці говорить про утворення кінцевих продуктів реакції (меланоїдинів). Останні в свою чергу є не бажаними, оскільки втрачається біологічна і харчова цінність.

Інтенсивність зміни забарвлення досліджували визначенням оптичної щільності зразків при довжині проміння світла 420н (A420). На рис. 3 систематизовано результати досліджень оптичної щільності зразків від тривалості теплової обробки та температурних режимів.

Результати визначення оптичної щільності зразків (рис. 3) показали, що показник оптичної щільності змінюється з 15 хв. за температур (110–140) °С. Високі показ-

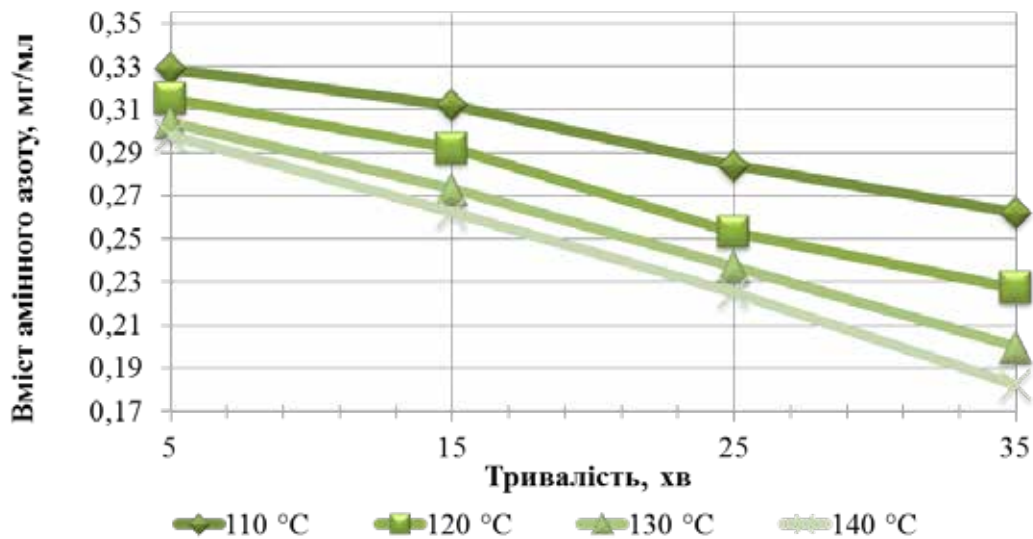


Рис. 1. Динаміка вмісту амінного азоту при тепловій обробці гідролізатів молочно-рослинних екстрактів

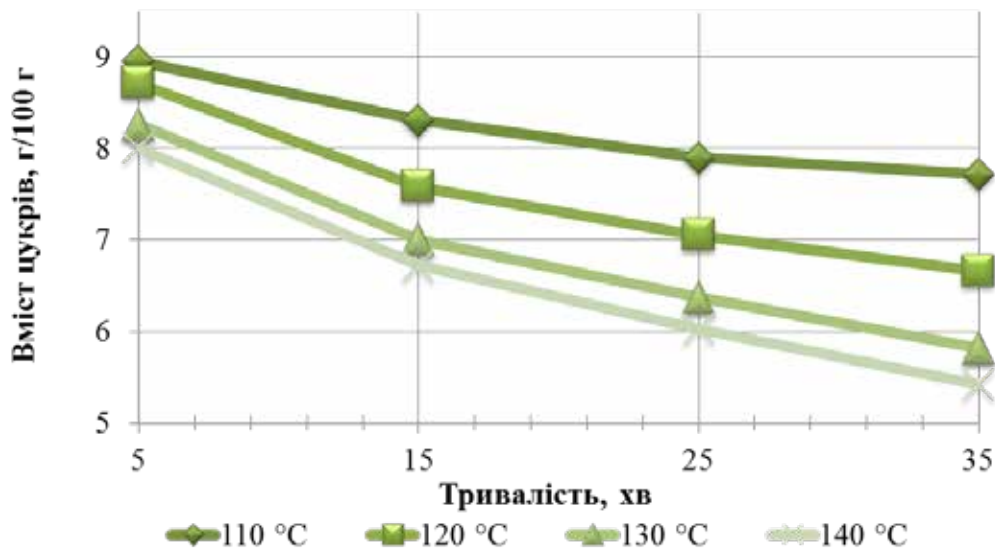


Рис. 2. Динаміка вмісту цукрів при тепловій обробці гідролізатів молочно-рослинних екстрактів

ники оптичної щільності в зразках оброблених протягом 35 хвилин за температури 130–140 °С, вказують на початок процесу карамелізації (утворення меланоїдинів).

Таким чином, отримано наступні раціональні параметри теплової обробки зразків: температура – (120–130) °С, тривалість нагрівання – (15–25) хв.

Сенсорним аналізом за обраними дескрипторами встановлювали зміну в зразках при тепловій обробці характеристик смаку та аромату від бажаних до неприємних.

Оцінку запаху і смаку в зразках здійснювали за допомогою сенсорного профільного методу. На основі результатів сенсорної аналізу побудовані бажані («ідеальні») профілі натуральних смакоароматичних добавок (рис. 4). Інтенсивність кожного дескриптору та загальне враження визначали за допомогою 5-бальної шкали.

Побудовані профілі запаху і смаку зразків отриманих за різних параметрів теплової обробки (температура – (120–130) °С, тривалість – (15–25) хв.) представлено на рис. 4.

Узагальнені результати сенсорного аналізу зразків після теплової обробки (рис. 4) показують, що процес утворення бажаних смакових і ароматичних характеристик відбувається при температурі 120 °С при обробці 25 хв. При цьому переважають дескриптори, як подібний м'ясному і бульйонному, профіль запаху і смаку зразків максимально наближений до «ідеального» профілю.

Обговорення. В роботі розглянуто утворення смакоароматичних речовин при тепловій обробці гідролізатів молочно-рослинних екстрактів (реакція Майяра), за якої відбувається взаємодія редуруючих цукрів з вільними амінокислотами. Як результат – накопичення проміж-

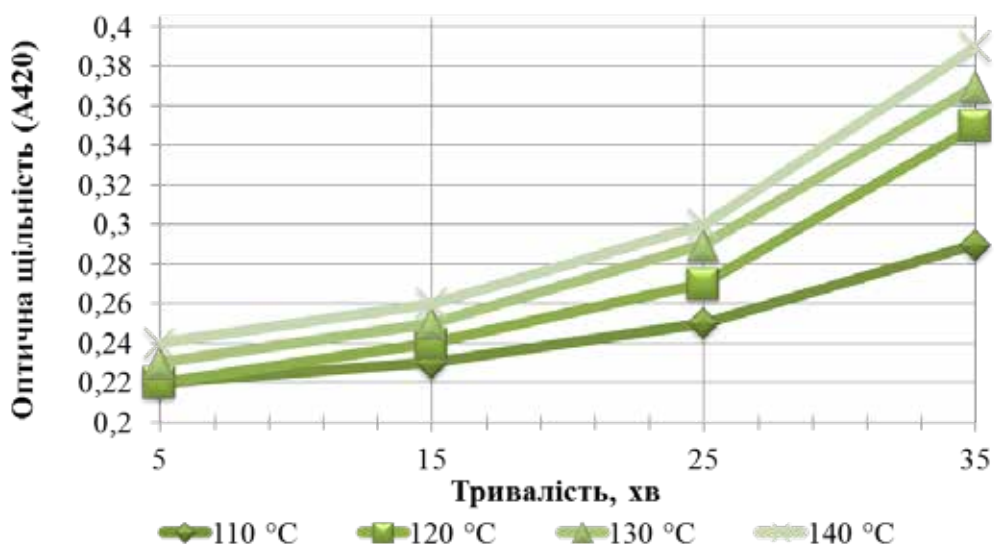


Рис. 3. Динаміка оптичної щільності (A420) при тепловій обробці в гідролізатах молочно-рослинних екстрактів

них та кінцевих продуктів реакції, які володіють ароматичними і смаковими характеристиками, можлива зміна кольору продуктів реакції.

За однакових параметрів теплової обробки зразків (температури і тривалості) (рис. 1 і 2) спостерігаються відмінності в динаміці зміни контрольних параметрів (вміст амінного азоту і вміст цукрів). Зменшення вмісту амінного азоту і вмісту цукру характерне для всіх стадій реакції Майяра. На початковій стадії відбувається взаємодія цукрів з амінокислотами, на проміжній стадії – фрагментація цукрів. Ці реакції також можуть проходити паралельно. При збільшенні температурних режимів теплової обробки збільшується активна форма цукрів, в яких відкритий ланцюг (Lagoque et al., 2008), а отже цукри активніше вступають в реакцію з амінокислотами.

Характер утворених смакоароматичних речовин визначають реакційні амінокислоти і цукри. Відомо, що в реакції Майяра реакційноздатні лише редуруючі цукри, при чому альдози більш активні з амінокислотами ніж кетози (Lagoque et al., 2008). Змінюючи тип цукру, який вступає в реакцію з амінокислотою можна отримувати нові смакоароматичні речовини. Дане питання розглянуто на модельній системі «гідролізат сироваткового білка:цукор» в авторській роботі (Synenko et al., 2022). Результати показали, що з додаванням ксилози до гідролізату сироваткових білків і подальшій температурній обробці тривалістю (25–35) хв. в ароматі і смаку переважали дескриптори подібні м'ясному і «умамі»; глюкози – солодкі, карамельні; лактози – карамельні. Відповідно до отриманих результатів, були обрані дескриптори, за якими оцінювалися смакоароматичні речовини після теплової обробки зразків.

Відповідно до отриманих результатів вміст амінокислот (амінного азоту) в зразках зменшується на 24,7 % в порівнянні з даними до теплової обробки. Втрата амінокислот пояснюється їх участю в утворенні смакоаро-

матичних речовин. Зокрема аромат подібний м'ясному і бульйонному в зразках утворюється в результаті реакції ксилози/глюкози із вільними амінокислотами, як серин, цистеїн, гістидин, треонін, глутамінової кислоти, лізин, гліцин, лейцин, валін.

По результатам дослідження утворення смакоароматичних речовин встановлені такі раціональні параметри теплової обробки: температура – (120,0±1,0) °C; тривалість – 25 хв.

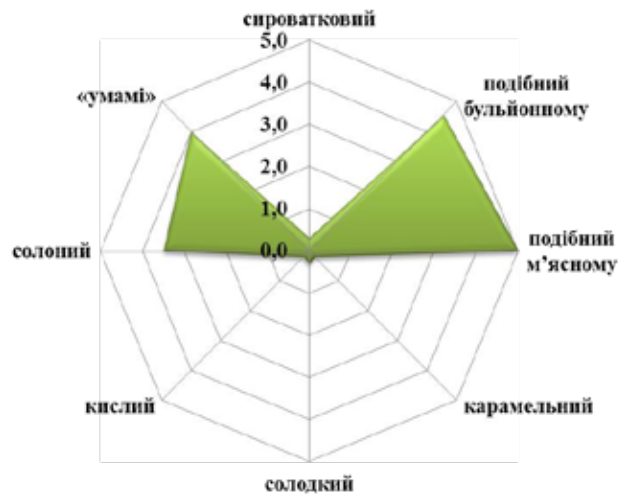
Для забезпечення стійкості смакоароматичного профілю добавки при зберіганні та зручності дозування і використання в різноманітних харчових продуктах в технології смакоароматичної добавки використано мальтодекстрин (ДЕ 2–12).

Опираючись на рекомендації IOFI, до смакоароматичних добавок носії-фіксатори вносяться на завершальних стадіях технології. Врахуючи вказане, мальтодекстрин в кількості 40 % вносили відразу після закінчення теплової обробки гідролізатів молочно-рослинних екстрактів (реакції Майяра). Задана концентрація мальтодекстрину зумовлена тим, що при меншій концентрації не забезпечується максимальне утримування ароматоутворюючих речовин. Добавка не має задовільних показників в'язкості та вмісту сухих речовин, а внесення більшої концентрації суттєво не змінює показники і є економічно недоцільним.

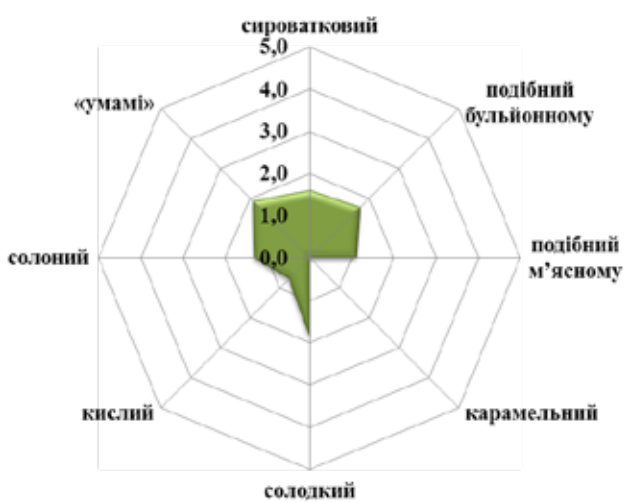
За результатами досліджень розроблено технологічну схему виробництва натуральних смакоароматичних добавок (рис. 5).

Розроблені натуральні смакоароматичні добавки володіють відмінними сенсорними (табл. 1) і фізико-хімічними показниками (табл. 2).

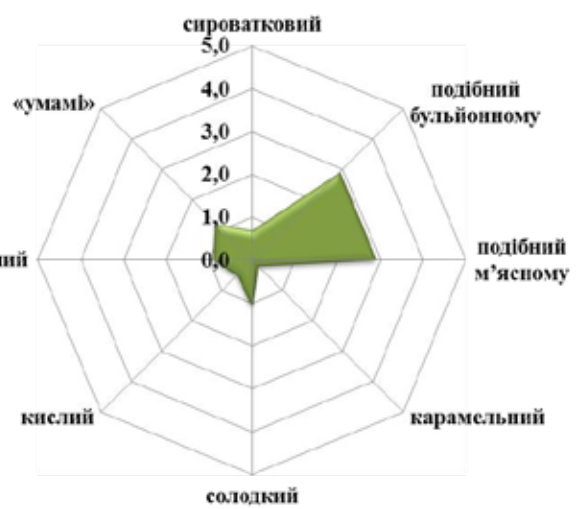
Висновки. Досліджено процес утворення смакоароматичних речовин в результаті теплового оброблення (реакції Майяра) гідролізатів молочно-рослинних екстрактів.



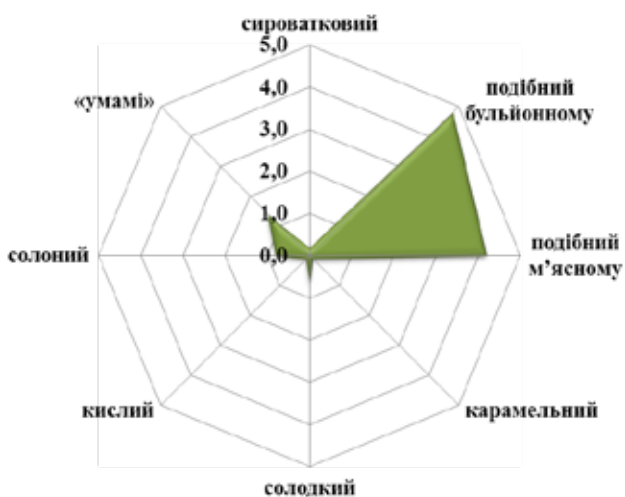
"Ідеальний" профіль



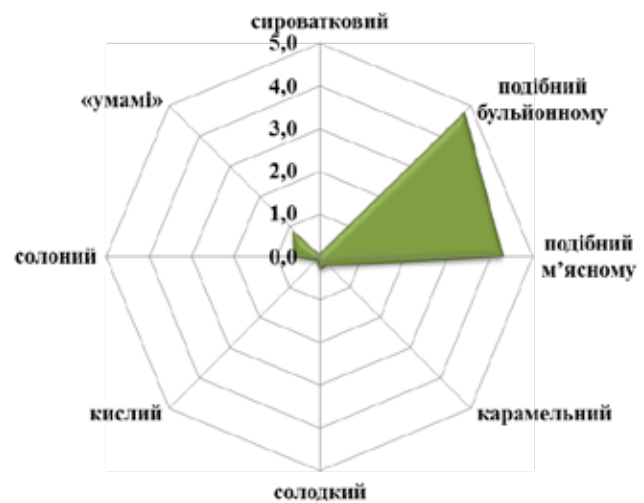
Температура – $(120,0 \pm 1,0)^\circ\text{C}$
Тривалість – 15 хв.



Температура – $(130,0 \pm 1,0)^\circ\text{C}$
Тривалість – 15 хв.



Температура – $(120,0 \pm 1,0)^\circ\text{C}$
Тривалість – 25 хв.



Температура – $(130,0 \pm 1,0)^\circ\text{C}$
Тривалість – 25 хв.

Рис. 4. Сенсорні профілі запаху і смаку гідролізатів молочно-рослинних екстрактів після теплової обробки

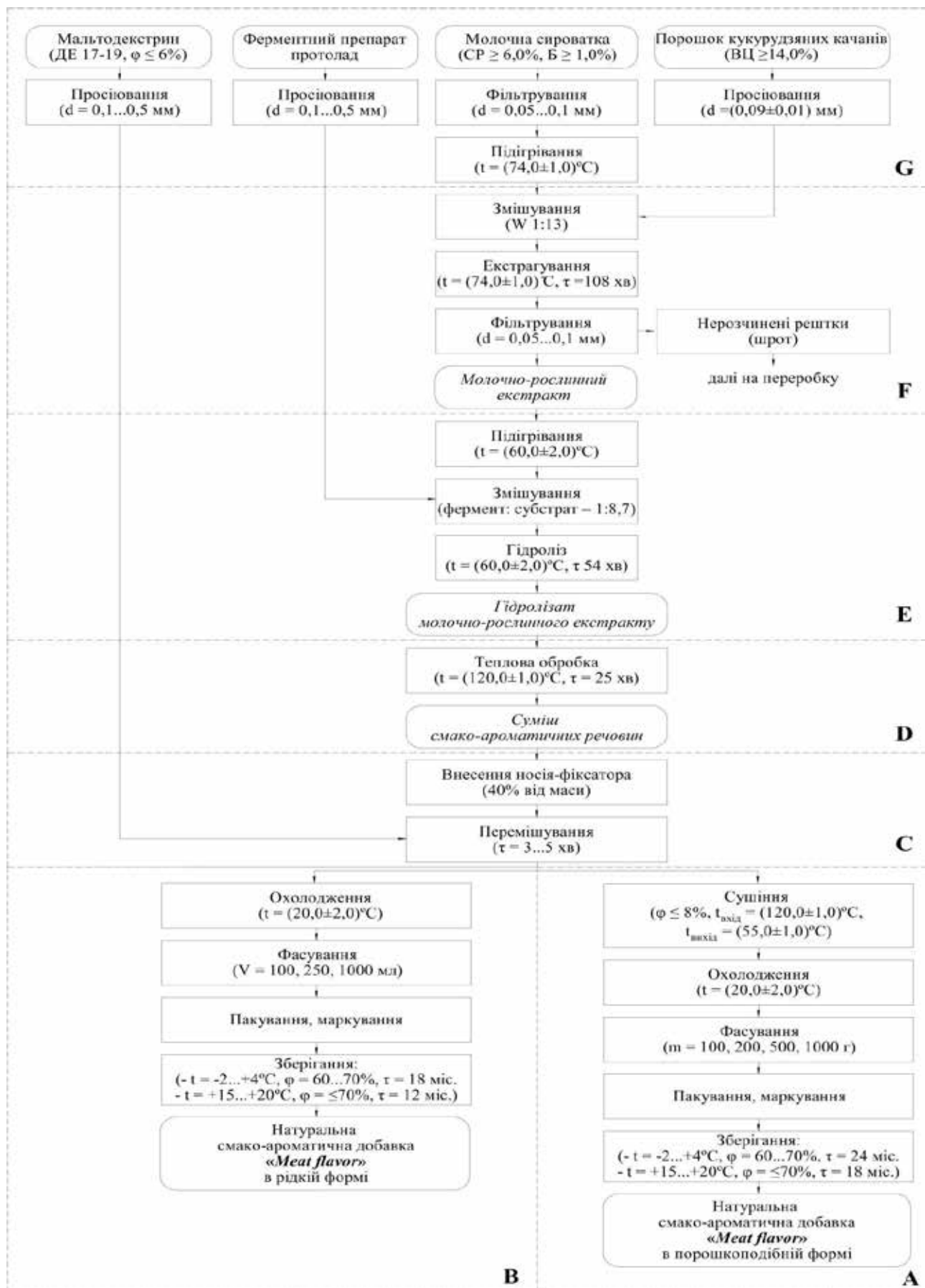


Рис. 5. Принципово-технологічна схема виробництва натуральної смако-ароматичної добавки «Meat flavor»

Органолептичні показники натуральної смакоароматичної добавки «Meat flavor»

| Найменування показника | Характеристика | |
|--------------------------------|---|---|
| | у рідкій формі | у порошкоподібній формі |
| Зовнішній вигляд, консистенція | Однорідна в'язка, не прозора рідина, без осаду та розшарувань | Однорідний, дрібнодисперсний розсипчастий порошок, без грудочок |
| Колір | Світло-жовтий | Жовто-коричневий |
| Запах | Подібний м'ясному, бульйонному | Слабо виражений, подібний м'ясному, бульйонному |
| Смак | Солонуватий, «умамі» | «Умамі», із солодким присмаком |

Фізико-хімічні показники натуральної смакоароматичної добавки «Meat flavor» (n=3, P≥0,95)

| Найменування показника | Значення для добавки | |
|------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| | у рідкій формі | у порошкоподібній формі |
| Вміст сухих речовин, % | 50,56 ±0,11 | 96,25 ±0,05 |
| pH водної суспензії, од. | 5,45 ±0,01 | 5,61 ±0,01 |
| В'язкість, Па·с(10 ⁻³) | 92,23 ±0,02 | - |
| Відносна швидкість розчинення, % | - | 85,0 ±1,0 |
| Білки, % | 1,31 | 2,74 |
| Жири, % | 0,51 | 0,97 |
| Вуглеводи, % | 47,05 | 89,57 |

Згідно результатів досліджень технологічних параметрів теплової обробки і утворення смакоароматичних речовин встановлені оптимальні параметри теплової обробки: нагрівання протягом 25 хвилин за температури (120,0±1,0)°C.

Встановлено наступні закономірності: при збільшенні температурних режимів збільшується ефективність реакції, в наслідок зменшується вміст амінокислот і цукрів; утворення смакоароматичних речовин

і зміна забарвлення залежать від температурних режимів і тривалості реакції. В результаті проведеної реакції отримуються зразки із винятковими смако-ароматичними профілями – смак і аромат подібний м'ясному і бульйонному.

Розроблено технологічну схему виробництва натуральних смакоароматичних добавок «Meat flavor». Визначено технологічні показники натуральних смакоароматичних добавок, їх харчову цінність.

Бібліографічні посилання:

1. De Oliveira Felipi, L., de Oliveira, A. M., & Lemos Bicas, J. (2017). Bioaroma – perspectives for sustainable development. *Trends in Food Science & Technology*, 26, 141–153. doi:10.1016/j.tifs.2017.02.005.
2. Laroque, D., Inisan, C., Berger, C., Vouland, E., Dufosse, L., & Guérard, F. (2008). Kinetic study on the Maillard reaction. Consideration of sugar reactivity. *Food Chemistry*, 111(4), 1032–1042. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.05.033.
3. Lobine, D., Rengasamy, K. R., & Mahomoodally, M. F. (2022). Functional foods and bioactive ingredients harnessed from the ocean: Current status and future perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(21), 5794–5823. doi: 10.1080/10408398.2021.1893643
4. Shang, Y. F., Cao, H., Wei, C. K., Thakur, K., Liao, A. M., Huang, J. H., & Wei, Z. J. (2020). Effect of sugar types on structural and flavor properties of peony seed derived Maillard reaction products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(3), e14341. doi: 10.1111/jfpp.14341.
5. Synenko, T. P., Frolova, N. E., Sokolenko, V. V., & Huba, S. O. (2022). Doslidzhennia vplyvu typu tsukru na reaktsiiu Maiiara v modelnykh systemakh iz hidrolizatom syrovatkovykh bilkiv [Study of the effect of sugar type on the Maillard reaction in model systems with whey protein hydrolyzate]. *Tavriskiyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky*, 1, 135–146. doi: 10.32851/tnv-tech.2022.1.15 (in Ukrainian).
6. Tarrah, A. (2022). Probiotics, Prebiotics, and Their Application in the Production of Functional Foods. *Fermentation*, 8(4), 154. doi: 10.3390/fermentation8040154
7. Ukrainets, A. I., & Frolova, N. E. (2019). Analitichna informatsiia pro stan vykorystannia aromatyzatoriv u sviti i v Ukraini ta mozhlyvosti rozvytku vitchyznianoho vyrobnytstva [Analytical information about the state of use of flavorings in the world and in Ukraine and the possibilities of development of domestic production]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*, 2(25), 251–260. doi: 10.24263/2225-2924-2019-25-2-27 (in Ukrainian).
8. Wei, C. K., Thakur, K., Liu, D. H., Zhang, J. G., & Wei, Z. J. (2018). Enzymatic Hydrolysis of Flaxseed (*Linum Usitatissimum* L.) Protein and Sensory Characterization of Maillard Reaction Products. *Food Chemistry*, 263, 186–193. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.04.120.
9. Zha, F., Yang, Z., & Rao, J. (2019). Gum arabic-mediated synthesis of glyco-pea protein hydrolysate via Maillard reaction improves solubility, flavor profile, and functionality of plant protein. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(36), 10195–10206. doi: 10.1021/acs.jafc.9b04099.

Syenko T. P., Assistant, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Bolhova N. V., Ph.D., Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Development of natural flavor additive «Meat flavor»

The article describes the production technology of natural taste-aromatic additives with unique and stable sensory properties. The technology of additives in this study is based on the formation of aromatic substances by the interaction of reducing sugars and free amino acids during thermal processing of hydrolyzates of milk plant extracts (Maillard reaction). As a result, the accumulation of intermediate and final products of the reaction, possessing aromatic and taste characteristics, as well as a possible change in the color of the reaction products. For the production of natural flavoring additives, a milk-plant extract from the powder of corn cobs is used, and whey is selected as an extractant. To obtain precursors of taste and aroma (free amino acids and low-molecular peptides), the milk-plant extract was hydrolyzed with the help of the enzyme preparation «Protolad». The paper investigated the effect of heat treatment parameters (Maillard reaction) of hydrolyzates of milk plant extracts: temperature – (110–140) °C; duration – (5–35) min. It was found that when the duration of heat treatment increases, the content of amine nitrogen in the samples decreases under all experimental temperature regimes. The lowest loss of amine nitrogen content is characterized by standards processed at a temperature of 110 °C for a duration of 35 minutes. The samples treated at a temperature of 140 °C for 35 minutes are characterized by the highest content of amine nitrogen (by 45.2% of the original value). It was investigated that at a temperature of 120 °C and a duration of 25 min. there is a decrease in sugar content by 22% from the initial value. When the temperature conditions are increased (130–140 C) and the duration of the heat treatment is up to 35 min. the content of sugars decreases by 36-40% of the original value. The study of the change in color intensity allows to determine at which stage the Maillard reaction is located, because the darkening of the samples during heat treatment indicates the formation of the final products of the reaction (melanoids). The latter, in turn, are not desirable, as the biological and food value is lost. The results of determining the optical density of the samples showed that the optical density indicator changes from 15 min. at a temperature of (110–140) °C. High indicators of optical density in samples processed for 35 minutes at a temperature of 130–140 °C indicate the beginning of the caramelization process (formation of melanoids). Sensory analysis based on selected descriptors determined the change in taste and aroma characteristics from desirable to unpleasant in the samples during heat treatment. The generalized results of the sensory analysis of the samples after heat treatment show that the process of formation of the desired taste and aromatic characteristics occurs at a temperature of 120 C after processing for 25 minutes. At the same time, descriptors such as similar to meat and broth prevail, the smell and taste profile of the samples is as close as possible to the «ideal» profile. Maltodextrin (DE 2–12) is used in the technology of flavor and aroma additives to ensure the stability of the taste and aroma profile of the additive during storage and ease of dosing and use in various food products. A technological scheme for the production of natural taste-aromatic additives «Meat flavor» has been developed.

Key words: whey, vegetable raw materials, extracts, hydrolyzates, heat treatment, Maillard reaction, natural flavoring additives, technological characteristics, organoleptic indicators.

ІНЖЕНЕРНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АГРОТЕХНІКИ ВИРОБНИЦТВА ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР СИСТЕМОТЕХНІКИ РОСЛИННИЦТВА

Сівак Ігор Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

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

ORCID: 0000-0002-6297-587X

sivakim@ukr.net

В статті автор подає результати оцінки роботи агротехніки виробництва зернових культур за допомогою показника ефективності функціонування, який дозволяє оцінити агротехніку виробництва зернових культур з урахуванням якості виконання технологічного процесу, надійності машин та їх здатності виконати роботу до певного моменту часу. У теоретичних дослідженнях використовувалися елементи системного аналізу, елементи теорії систем, методи кінематичного та динамічного аналізу механізмів та машин, методи математичного моделювання процесів. В основу досліджень ґрунтово-кліматичних умов функціонування виробничих процесів рослинництва покладено стандартні методики з подальшим застосуванням теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії подоби. Експериментальні дослідження виконано з використанням галузевих методик, методик планування спостережень за роботою агротехніки виробництва зернових культур.

Автором запропоновано метод моделювання роботи агротехніки виробництва зернових культур, заснований на поданні агротехніки виробництва зернових культур у вигляді окремих кінематичних схем та подальшого дослідження їх за допомогою методів кінематичного та динамічного аналізу та синтезу. Також подано залежності та закономірностей пливучих технічних та технологічних параметрів агротехніки виробництва зернових культур на показники надійності та якості його роботи.

Результати дослідження при їх реалізації дозволяють підвищити напруження агротехніки виробництва зернових культур на відмову з 7,6 до 120 годин і забезпечити посів зернових культур в агротехнічні терміни, за рахунок рівномірного розподілу насіння та якісного їх загортання створити більш комфортні умови для зростання рослин, що сприяють підвищенню врожаю.

Запропоновані залежності та закономірності, а також інженерні рішення та методика оцінки експлуатаційної надійності можуть бути практичною базою при проектуванні нових ґрунтообробних та посівних агрегатів, що дозволяють виконувати роботу з коефіцієнтом надійності технологічного процесу 0,98–0,99.

Ключові слова: агротехніка, параметр, зерно, системотехніка, рослинництво.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.17>

Постановка проблеми. Порівняно зі світовим рівнем витрати на виробництво продукції рослинництва перевищують 10...15 раз (Golub & Dvornyk, 2020). Найбільш ефективним шляхом їх зниження є перехід до ресурсозберігаючих технологій, які передбачають використання агротехніки виробництва зернових культур (Pöhlitz et al., 2018). Ці агрегати здатні за один прохід виконати кілька технологічних операцій та скоротити час проведення польових робіт (Rogovskii et al., 2019). Тому в даний час з'явився підвищений попит на агротехніку виробництва зернових культур і виробництвом їх займаються понад тридцять підприємств (Nazarenko et al., 2021), якими розроблено близько шістдесят різних типів (Foley et al., 2012). Однак, через брак знань про особливості їх експлуатації та відсутність достовірної інформації про причини, що викликають відмови агротехніки виробництва зернових культур, спостерігається низька надійність та низька якість виконання механізованої роботи (Rogovskii et al., 2020). Особливо це відзначається на початковому етапі їхньої експлуатації. За існуючими даними напруження на відмову у агротехніки виробництва зернових культур дорівнює всього 32...63 год, що впливає на строки, зокрема, посіву (Charmen et al., 2015). Посів у оптимальні терміни дає збільшення врожаю на 2-4 ц/га, а поглиблення насіння на 2 см від рекомендованої глибини посіву знижує їхню польову схожість на 5-10 %.

Відповідно до тенденцій науково-технічного прогресу необхідно постійно підвищувати надійність та якість роботи агротехніки виробництва зернових культур, що потребує вивчення умов їх функціонування та виявлення причин, що викликають відмови (Rogovskii, 2019). У такій постановці розв'язати завдання можна лише з урахуванням всього різноманіття факторів, що впливають на їхню роботу. У свою чергу, це можливо при розгляді агротехніки виробництва зернових культур як динамічної системи з ймовірнісними вхідними та вихідними змінними (Hrupkiv et al., 2020). Отже, вирішення таких завдань, як розробка відповідних методів моделювання робочих процесів системотехніки рослинництва з урахуванням умов їх функціонування, розробка основних принципів теорії розрахунку та обґрунтування параметрів робочих органів, що підвищують надійність та якість роботи, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Агротехніка виробництва зернових культур представлена у вигляді окремих машин (Nazarenko et al., 2020), на які діють різні фактори, що впливають на ефективність функціонування (Yinyana et al., 2019). Чинники поділяються на дві групи: контрольовані та неконтрольовані (рис. 1).

Однак, при всій значущості проведених досліджень деякі важливі аспекти проблеми, що розглядається, роз-

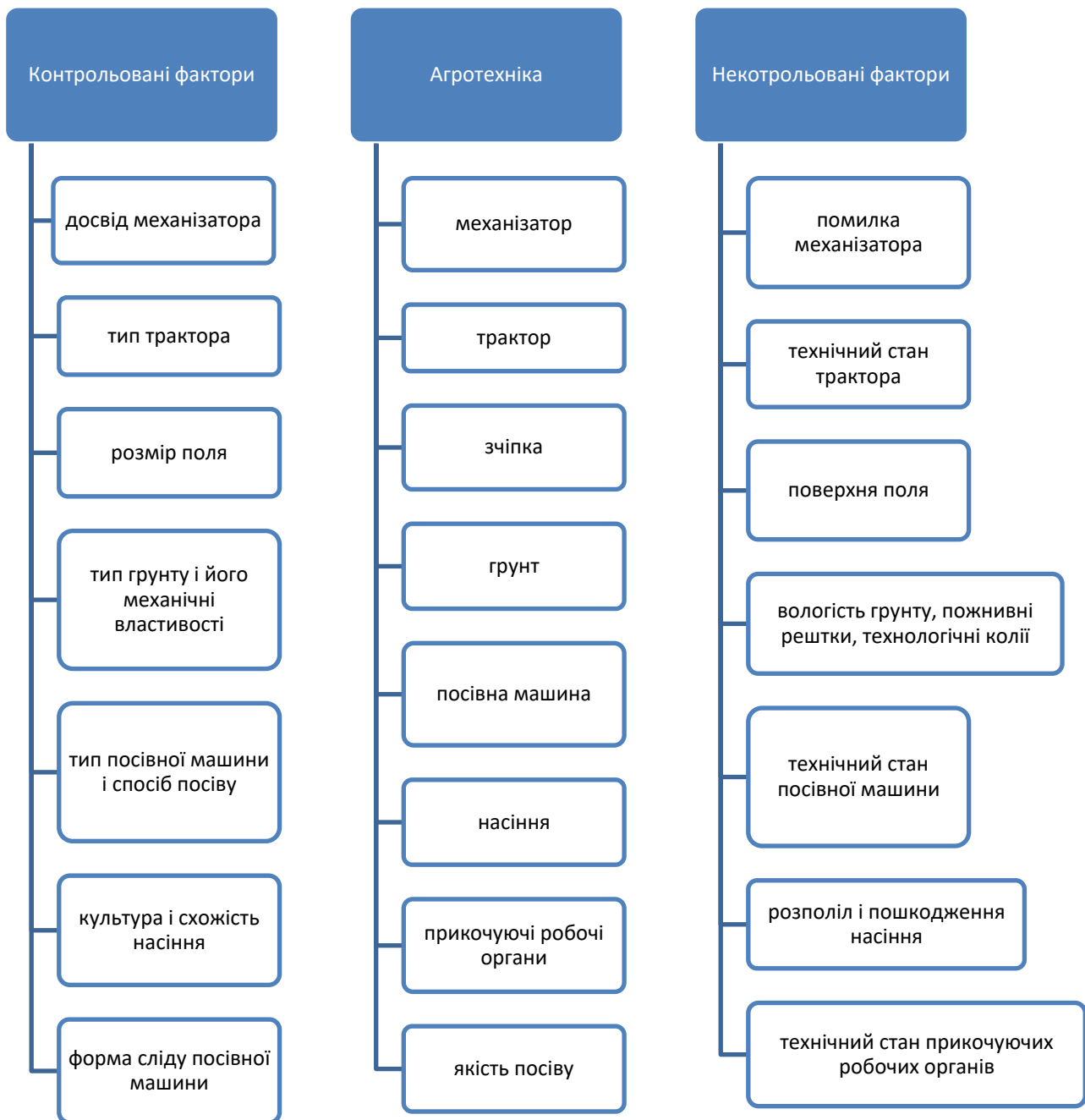


Рис. 1. Схема впливу факторів на ефективність машиновикористання агротехніки виробництва зернових культур

роблені недостатньо (Hossain et al., 2014). У проведених дослідженнях закономірності зміни показників при взаємодії елементів машин та агрегатів із ґрунтом та навколишнім середовищем розглядалися щодо зниження енергоємності процесів, оптимізації параметрів елементів машин, визначення показників використання машин (Zubko et al., 2022).

Причини, які впливають на якість роботи виконуваної робочими органами агротехніки виробництва зернових культур, вивчені недостатньо (Brown & Richards, 2018). Недостатньо досліджень щодо виявлення сил та моментів, що діють на робочі органи агротехніки при виконанні роботи (Romaniuk et al., 2018). Недосконалі методи

оцінки ефективності функціонування агротехніки виробництва зернових культур залежно від їхнього технічного стану та часу роботи за зміну (Celik, 2013).

Контрольовані фактори задаються технологією та їх вплив відомий, а неконтрольовані виникають несподівано і керувати ними неможливо (Rogovskii et al., 2021), але їх вплив необхідно враховувати при розробці нових та експлуатації існуючих машин (Yousif et al., 2013).

Метою досліджень є дослідження ефективності функціонування комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів шляхом удосконалення їх робочих органів, які забезпечують надійність та якість виконання ними роботи.

Результати досліджень. Експлуатація агротехніки виробництва зернових культур є послідовністю різних станів, в яких можуть знаходитися його машини. У будь-який час стан машин описується випадковим вектором $\vec{S}(t)$. Компоненти $S_k(t)$, ($k=1,2,\dots,N$) вектора $\vec{S}(t)$ представляють різні стани машин. У кожному стані машини можуть виконувати роботу з певним рівнем якості, що залежить від випадкового впливу факторів. Кількісна оцінка якості роботи агротехніки $H_S(t)$ у кожний момент часу є функцією стану машин $\vec{S}(t)$ у цей момент і називається характеристикою якості функціонування агротехніки виробництва зернових культур:

$$H_S(t) = H\vec{S}(t). \quad (1)$$

Оскільки стан $\vec{S}(t)$ машин змінюється у часі випадковим чином, то процес $H\vec{S}(t)$ є випадковим. Випадковий процес $H\vec{S}(t)$ є загальною математичною моделлю функціонування агротехніки виробництва зернових культур, яка представлена у вигляді блок-схеми, через вектор вихідних показників, вектор вхідних показників, вектор керованих впливів від контрольованих факторів, вектор некерованих дій від неконтрольованих факторів.

У теоретичних дослідженнях використовувалися елементи системного аналізу, елементи теорії систем, методи кінематичного та динамічного аналізу механізмів та машин, методи математичного моделювання процесів. В основу досліджень ґрунтово-кліматичних умов функціонування виробничих процесів рослинництва покладено стандартні методики з подальшим застосуванням теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії подоби. Експериментальні дослідження виконано з використанням галузевих методик, методик планування спостережень за роботою агротехніки виробництва зернових культур. Обробка експериментальних даних здійснювалася методами математичної статистики з допомогою комп'ютерних програм MathCad, Microsoft Office Excel.

Ефективністю функціонування агротехніки виробництва зернових культур у разі слід вважати математичне очікування випадкової функції $H_S(t)$, як середнє за безліччю реалізацій випадкового процесу $H\vec{S}(t)$. Для агротехніки виробництва зернових культур з послі-

довно з'єднаними елементами з погляду надійності (рис. 2) ефективність функціонування визначиться за формулою:

$$H_S(t) = \sum_{j=1}^m H \cdot P_{H_S}(t) = \sum_{j=1}^m H \cdot \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (2)$$

де H – ефективність функціонування ідеальної машини, га/год; P_{H_S} – ймовірність появи H_S -го стану машини; $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента машини; m – кількість машин у агротехніці виробництва зернових культур.

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи $P_i(t)$ використовується інтегральна функція у вигляді експоненційного закону розподілу:

$$P_i(t) = e^{(-\lambda_i \cdot t)}, \quad (3)$$

де λ_i – параметр потоку відмов i -го елемента машини, 1/год.

При цьому вихідний ефект агротехніки виробництва зернових культур на момент часу t залежатиме від ефективності функціонування машини:

$$E_S(t) = \int_0^t H \cdot P_{H_S}(t) dt = \int_0^t H \cdot e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t} dt = \frac{H}{\lambda_i} \left(1 - e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t} \right), \quad (2)$$

де t – час роботи машини, год.

У реальному житті машина може працювати і при одному або двох елементах, що відмовили. При цьому ефективність функціонування її може бути дещо нижчою, ніж у машини, що працює зі справними елементами (рисунок 3).

Беручи до уваги, що відмова одночасно двох елементів машини (висівних апаратів) веде до відмови, обмежиться трьома її станами:

– машина справна і всі її елементи працюють:

$$P_{H_1} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6; \quad (3)$$

– машина працює з одним апаратом, що відмовив під непарним номером:

$$P_{H_2} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot (1 - P_5) \cdot P_6; \quad (4)$$



Рис. 2. Схема посівної машини з послідовним з'єднанням елементів

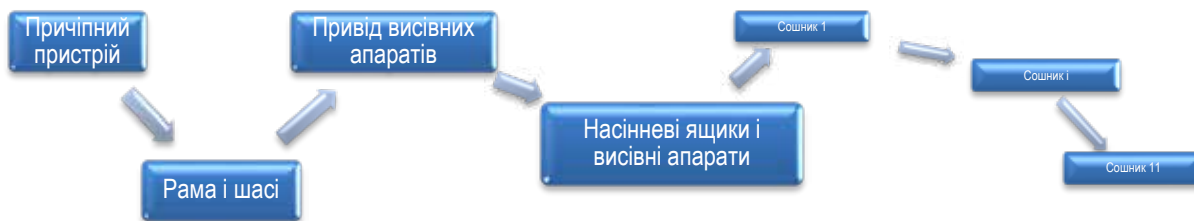


Рис. 3. Схема посівної машини з паралельним (дублюючим) розташуванням елементів

– машина працює з одним апаратом, що відмовив під парним номером:

$$P_{H_3} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot (1 - P_4) \cdot P_5 \cdot P_6. \quad (5)$$

Тоді ефективність функціонування машини, що характеризує математичне очікування вихідного ефекту, визначиться за формулою повного математичного очікування:

$$E_S(t) = k_{H_1} \cdot P_{H_1} + k_{H_2} \cdot P_{H_2} + k_{H_3} \cdot P_{H_3}, \quad (6)$$

де k_{H_i} – ефективність функціонування машини, що у одному з можливих станів від H_1 до H_3 . Підставивши відповідні значення P_{H_3} у формулу (3), отримаємо у загальному вигляді ефективність функціонування машини при паралельному з'єднанні двох елементів:

$$E_S(t) = e^{(-\lambda_{S_1} \cdot t)} \cdot \left\{ k_{H_1} + \sum_{i=2}^2 k_{H_i} (e^{\lambda_i \cdot t} - 1) \right\}, \quad (7)$$

де λ_{S_1} – параметр потоку відмов машини H_i -м стані,

$$\lambda_{S_1} = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (8)$$

де n – кількість елементів, у тому числі складається машина.

Вихідний ефект машини на момент часу (t):

$$E_S(t) = \int_0^t e^{(-\lambda_{S_1} \cdot t)} \cdot \left\{ k_{H_1} + \sum_{i=2}^2 k_{H_i} (e^{\lambda_i \cdot t} - 1) \right\} dt, \quad (9)$$

де $-\lambda_{S_2} = -\lambda_{S_1} + \lambda_5$ – параметр потоку відмов машини S_2 стані;

$-\lambda_{S_3} = -\lambda_{S_1} + \lambda_4$ – параметр потоку відмов машини S_3 стані.

Формулу визначення вихідного ефекту машини на момент часу (t) з паралельним з'єднанням двох елементів можна подати у вигляді:

$$E_S(t) = \sum_{i=1}^2 \frac{k_{H_i}}{\lambda_{H_i}} (1 - e^{-(\lambda_{H_i} \cdot t)}) - \frac{k_{H_3}}{\lambda_{H_3}} (1 - e^{-(\lambda_{H_3} \cdot t)}), \quad (10)$$

При оцінці ефективності функціонування посівних машин виникають ситуації, коли необхідно порівняти машини з комбінованим з'єднанням кількох систем з неоднорідними елементами. У яких відмова деяких елементів системи може призвести лише до часткового зниження якості машиною роботи, але не призведе її до зупинки.

В цьому випадку прийемо, що ймовірність безвідмовної роботи машини дорівнює P_{H_1} . Тоді ймовірність

роботи машини з відмовою, наприклад, у системі навішування кільчастих котків буде P_{H_2} , системи ланцюгових вирівнювачів P_{H_3} , маркера P_{H_4} , сигналізації P_{H_5} . Відповідно, ефективність функціонування машини визначиться як повне математичне очікування:

$$E_S(t) = k_{H_1} \cdot P_{H_1} + k_{H_2} \cdot P_{H_2} + k_{H_3} \cdot P_{H_3} + k_{H_4} \cdot P_{H_4} + k_{H_5} \cdot P_{H_5}, \quad (11)$$

Оскільки k_{H_i} ефективність функціонування машини, що знаходиться в одному з можливих станів h_1 до h_N . Підставивши відповідні значення P_{H_i} у формулу (11), отримаємо формулу вихідного ефекту у загальному вигляді:

$$E_S(t) = \int_0^t k_{h_1} \cdot e^{-(\lambda_{H_1} \cdot t)} dt + \int_0^t \sum_{h_y=h_2}^{h_N} k_{h_y} \cdot e^{-(\lambda_{H_y} \cdot t)} dt - \int_0^t \sum_{h_y=h_2}^{h_N} k_{h_y} \cdot e^{-(\lambda_{H_y} \cdot t)} dt. \quad (12)$$

де $-\lambda_{H_y} = -\lambda_{H_1} + \lambda_i$ – параметр потоку відмов машини H_y стані.

Модель вихідного ефекту машини до моменту часу (t) з структурою елементів, що гілкується, можна представити як:

$$E_S(t) = \sum_{h_y=h_2}^{h_N} \frac{k_{h_y}}{\lambda_{H_y}} \left\{ 1 - e^{-(\lambda_{H_y} \cdot t)} \right\} - \frac{1}{\lambda_{H_1}} \cdot \left(\sum_{h_y=h_2}^{h_N} k_{h_y} - k_{h_1} \right) \cdot \left\{ 1 - e^{-(\lambda_{H_1} \cdot t)} \right\}. \quad (13)$$

Враховуючи що $k_{h_y} = k_{h_1} - \delta_{h_y}$ можна спростити формулу (13):

$$\sum_{h_y=h_2}^{h_N} k_{h_y} - k_{h_1} = (k_{h_1} - \delta_{h_2}) + (k_{h_1} - \delta_{h_3}) + \dots + (k_{h_1} - \delta_{h_N}) - k_{h_1} = (N-2) \cdot k_{h_1} - \sum_{k=2}^N \delta_{h_k}. \quad (14)$$

де δ_{h_k} – втрата ефективності функціонування машини h_k -у стані;

$$\sum_{k=2}^N \delta_{h_k} = k_{h_1} - \delta_{h_1}$$

де δ_{h_1} – втрата ефективності машини в h_1 -у стані:

$$E_S(t) = \sum_{h_y=h_2}^{h_N} \frac{k_{h_y}}{\lambda_{H_y}} \left\{ 1 - e^{-(\lambda_{H_y} \cdot t)} \right\} - \frac{(N-3) \cdot \delta_{h_1}}{\lambda_{H_1}} \left\{ 1 - e^{-(\lambda_{H_1} \cdot t)} \right\}. \quad (15)$$

Значення показника ефективності функціонування залежить від параметра потоку відмов i -х елементів машини, відповідно виявивши причину появи відмови та усунувши її знизимо параметр потоку відмов та підвищимо показник ефективності функціонування агротехніки виробництва зернових культур.

Для перевірки розроблених моделей здійснено розрахунки показника ефективності функціонування агротехніки виробництва зернових культур з послідовним з'єднанням елементів у машинах залежно від параметра потоку відмов (рисунок 4). Напрацювання машини на відмову змінювали від 10 до 100 годин. Аналізуючи результати необхідних ходимо відзначити, що машина з напрацюванням на відмову 10 годин ($\lambda = 0,1$) до кінця зміни має показник ефективності функціонування – 0,63, а з напрацюванням на відмову 100 годин ($\lambda = 0,01$) – 0,905. Це означає, що можливість виконання машиною роботи підвищилася з 0,63 до 0,905.

При дублюванні ненадійного елемента, що має параметр потоку відмов $\lambda = 0,05$, а параметр потоку відмовних елементів машини 0,01 через 10 годин роботи машини показник ефективності функціонування дорівнює 0,82, а без дублюючого – 0,75 (рисунок 5).

Посівна машина має кілька систем, відмова яких не призведе до її зупинки, а лише трохи знизить якість роботи, що виконується. До таких систем належать: катки, маркери, ланцюгові вирівнювачі та система сигналізації. Якщо відмова ходової частини машини або приводу висівних апаратів веде до зупинки машини, то поломка одного, двох кілець біля ковзаник або однієї ресори навішування не зупинить машину. При цьому вона може бути в одному з перерахованих станів (таблиця 1).

Кожному стану машини відповідає власний показник ефективності функціонування, що визначає якість виконання роботи. Розрахунки показують, що з урахуванням роботи машини з однією, що частково відмовила система (варіант 1), показник ефективності функціонування машини після 10 годин роботи залишається ще

доволі високим 0,903, якщо враховувати, що машина після першої відмови зупиниться показник рівне – 0,786.

При досягненні параметра потоку відмов ($\lambda = 0,01$), для машини з встановленими на неї системами через 10 годин роботи маємо показник ефективності функціонування (варіант 2) – 0,976, при цьому, без урахування роботи машини з частковою відмовою системи (варіант 2) – 0,95. Таким чином, використовуючи показник ефективності функціонування, можна ще на стадії проектування машини ділити показники її надійності.

Зібраний статистичний матеріал та дослідження у типових господарствах обраних зон дозволили виявити основні ненадійні елементи машини. Такі, як зчіпний пристрій для з'єднання машин, причіпний пристрій, вилки та кронштейни коліс зчіпки, приймачі сошників для насіння та навішування котків (таблиця 2).

Частка конструкційних відмов, спричинених технологічною та технічною недосконалістю машини, становить від 30 до 50 %.

З технологічних відмов основними є: звужена смуга посіву, забивання котків ґрунтом та наявність гребенів після загорання насіння.

Поява відмов та зниження ефективності функціонування машини обумовлено такими факторами: технічний стан машини; фізико-механічні властивості ґрунту; стан поверхні поля; помилки оператора під час виборів технологічних прийомів і режимів роботи машини (таблиця 3).

Зчіпний пристрій є найважливішим елементом, що визначає надійність машини. На підставі результатів дослідження виготовлено новий зчіпний пристрій, який складається з двох сполучних ланок, встановлених на кронштейнах по краях рами паралельно до переднього та заднього брусів. Пристрій має один ступінь свободи, дозволяє

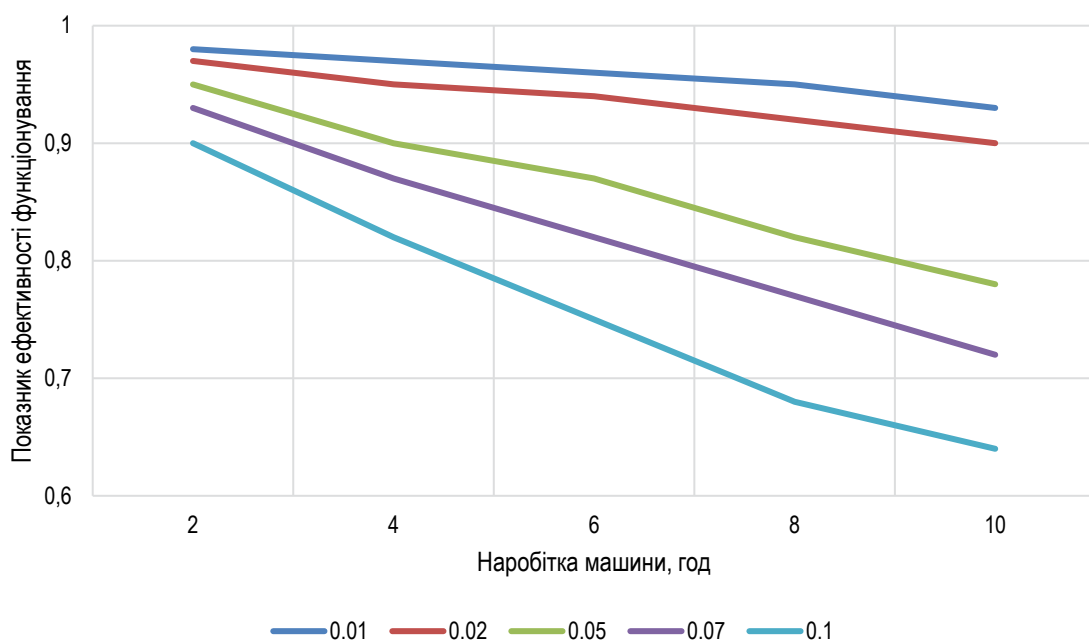


Рис. 4. Динаміка зміни показника ефективності функціонування з послідовно з'єднаними елементами машини в залежності від часу її роботи і параметру потоку відмов

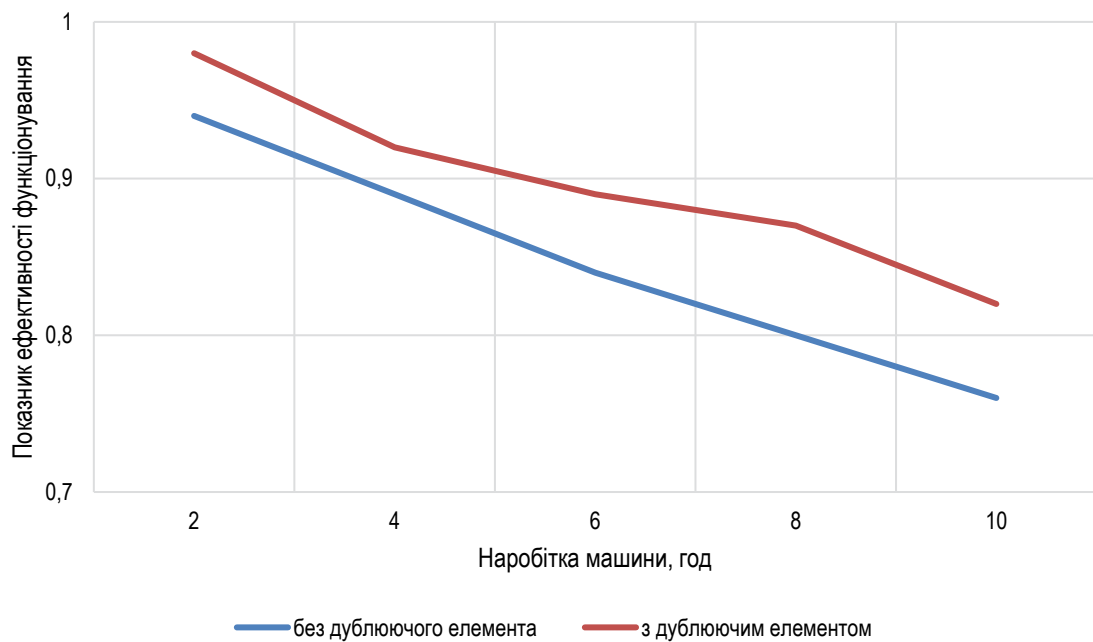


Рис. 5. Динаміка зміни показника ефективності функціонування при дублюванні ненадійного елемента

Таблиця 1

Параметри станів машини

| Стан машини | Показник ефективності | Параметр потоку відмов | | |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|-----------|-----------|
| | | Варіант 1 | Варіант 2 | Варіант 3 |
| Машини справна | 1,0 | 0,05 | 0,01 | 0,011 |
| Відмова кільця ковзанки | 0,7 | 0,04 | 0,008 | 0,01 |
| Відмова вирівнювача | 0,8 | 0,04 | 0,009 | 0,009 |
| Відмова маркера | 0,7 | 0,04 | 0,008 | 0,009 |
| Відмова сигналізації | 0,8 | 0,04 | 0,009 | 0,009 |

Таблиця 2

Кількість претензій щодо конструкційних відмов машини

| Відмова | Рік | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Усього відмов | 46 | 154 | 240 | 63 | 38 | 98 | 24 |
| у т. ч. конструкційні | 14 | 53 | 82 | 30 | 18 | 39 | 12 |
| Зчіпний пристрій | - | 13 | 17 | 4 | 2 | 11 | - |
| Причіпний пристрій | 4 | 5 | 11 | - | - | 2 | - |
| Колесо зчіпки | 4 | 10 | 12 | 6 | 2 | 8 | - |
| Приймач сошника | - | 6 | 8 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| Наважка ковзанок | 3 | 18 | 9 | 9 | 3 | 5 | 1 |
| Інші пристрої | 3 | 1 | 25 | 9 | 10 | 10 | 8 |

Таблиця 3

Розподіл відмов машини за ступенем впливу факторів, %

| Чинник | Рік | | | | | | | Середнє значення |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | |
| Технічний стан | 65,2 | 59,7 | 60,0 | 52,5 | 63,2 | 49,0 | 54,2 | 57,2±5,9 |
| Властивість ґрунту | 4,4 | 11,7 | 16,3 | 19,0 | 10,5 | 18,4 | 33,3 | 16,2±9,1 |
| Стан поля | 19,6 | 9,1 | 10,8 | 19,0 | 15,8 | 17,3 | 4,2 | 13,7±5,8 |
| Помилка оператора | 10,8 | 19,5 | 12,9 | 9,5 | 10,5 | 15,3 | 8,3 | 12,4±3,9 |

машинам незалежно копіювати ґрунт і не дає можливість машинам переміщатися щодо один одного. Довжина сполучних ланок не менше 0,4 м, що унеможлиблює зближення машин і зменшує дію сил від коливань машин при пересуванні по нерівній поверхні поля. При цьому сила реакції, що розриває ланки у точці вигину, зменшується у 18 разів. Для визначення сил і моментів, що діють на причіпний пристрій КППА, необхідно мати вихідну інформацію про величину опору тягового машин і агрегату в цілому.

Обговорення. Виявлено основні елементи, що знижують надійність та якість роботи агротехніки виробництва зернових культур (Lekavičienė et al., 2019). Найбільш значущими факторами, що впливають на відмови елементів є: технічний стан агротехніки виробництва зернових культур – $57,7 \pm 3,9$ %; стан поверхні поля – $16,2 \pm 9,1$ %; фізико-механічні властивості ґрунту – $13,7 \pm 5,8$ %; помилки оператора під час виборів технологічних прийомів і режимів роботи агротехніки виробництва зернових культур – $12,4 \pm 3,9$ % відмов (Vaitauskienė et al., 2017). Частка конструкційних відмов, спричинених технологічною та технічною недосконалістю агротехніки виробництва зернових культур, становить від 30 до 50 % (Rogovskii et al., 2022).

Висновки. Для оцінки роботи агротехніки виробництва зернових культур слід застосовувати показник ефективності функціонування. Для його визначення розроблено математичну модель, яка має на вході параметри технологічного процесу посіву зернових культур, а на виході, на відміну від інших, дає комплексну оцінку якості роботи агротехніки виробництва зернових культур до певного моменту часу. Зі зменшенням параметра потоку відмов агротехніки виробництва зернових культур $\lambda = 0,1$ до $\lambda = 0,01$ показник ефективності функціонування збільшується від 0,63 до 0,95, відповідно збільшується ймовірність виконання роботи до кінця десятигодинної зміни з 0,63 до 0,95. При появі у агротехніки виробництва зернових культур ненадійного елемента з параметром потоку відмов $\lambda = 0,05$ показник ефективності функціонування машини через 10 годин роботи 0,75, при дублюванні ненадійного елемента він збільшується до 0,82. Показник ефективності функціонування для агротехніки виробництва зернових культур з параметром потоку відмов $\lambda = 0,01$ через 10 годин роботи дорівнює 0,95, а з урахуванням його можливої роботи з одним елементом, що відмовив, він збільшується до 0,976.

Бібліографічні посилання:

1. Brown, R. & Richards, A. (2018). Engineering principles of agricultural machinery. ASABE, 84(2): 1120–1132.
2. Celik, A. (2013). Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. *Soil and Tillage Research*, 131: 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.03.004>.
3. Charman, W. C., Moxey, A. P. & Towers, W. (2015). Mitigating arable soil compaction: are view and analysis of available cost and benefit data. *Soil and Tillage Research*, 146: 10–25.
4. Foley, K. M., Shock, C. C., Norberg, O. S. & Welch, T. K. (2012). Making strip tillage work for you: a grower's guide, Oregon State University, Department of Crop and Soil Science Ext. CrS: 140.
5. Golub, G. & Dvornyk, A. (2020). Research of indicators of strip tillage. *TEKA. Quarterly journal of agri-food industry*, 20(2): 83–90.
6. Hossain, M. S., Gathala, M. K., Tiwari, T. P. & Hossain, M. S. (2014). Strip tillage seeding technique: a better option for utilizing residual soil moisture in rain fed moisture stress environments of North-West Bangladesh. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, 2(4 April): 132–136.
7. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
8. Lekavičienė, K., Šarauskisa, E., Naujokienė, V., Buragienė, S. & Kriauciūnienė, Z. (2019). The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO₂ emissions. *Soil and Tillage Research*, 192: 95–102.
9. Nazarenko, I., Dedov, O., Bernyk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
10. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
11. Pöhlitz, J., Rücknagela, J., Koblenza, B., Schlüter, S., Vogelb, Hans-Jörg & Olaf, C. (2018). Computed tomography and soil physical measurements of compaction behaviour under strip tillage, mulch tillage and no tillage. *Soil and Tillage Research*, 175: 205–216. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.007>.
12. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
13. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadtochiy, O. V. (2021). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.

14. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskyi, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
15. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Haponenko, O. I., Ohiienko, M. M. & Kulik, V. P. (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. *INMATEH. Agricultural Engineering*, 60(1): 45–52. <https://doi.org/10.35633/inmateh-60-05>.
16. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
17. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
18. Vaitauskienė, K., Šaraukisa, E., Kęstutis, Romaneckas & Jasinskas, A. (2017). Design, development and field evaluation of row-cleaners for strip tillage in conservation farming. *Soil and Tillage Research*, 174: 139–146.
19. Yinyana, S., Sunb, X., Xiaochanc, W., Zhichaoa, H., Newmanb, D. & Weimin, D. (2019). Numerical simulation and field tests of minimum-tillage planter with straw smashing and strip laying based on EDEM software. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166: 105021.
20. Yousif, A. L., Dahab, H. M. & El-Ramlawi, R. H. (2013). Crop-machinery management system for field operations and farm machinery selection. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 5: 84–90.
21. Zubko, V., Sirenko, V., Kuzina, T., Koszel, M., & Shchur, T. (2022). Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. *Agricultural Engineering* this link is disabled, 26(1): 25–37.

Sivak I. M., Candidate of Technical Sciences, Assistant of Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Engineering management of technological parameters of agricultural techniques of cereal crops production systems of plant growing

In the article, the author presented the results of evaluating the work of agricultural machinery for the production of grain crops using the performance efficiency indicator, which allows to evaluate the agricultural machinery for the production of grain crops, taking into account the quality of the execution of the technological process, the reliability of the machines and their ability to perform the work up to a certain point in time. Elements of system analysis, elements of systems theory, methods of kinematic and dynamic analysis of mechanisms and machines, methods of mathematical modeling of processes were used in theoretical research. The basis of the studies of the soil-climatic conditions of the functioning of production processes of crop production is based on standard methods with the subsequent application of the theory of probabilities and mathematical statistics, the theory of similarity. Experimental studies were carried out using branch methods, methods of planning observations on the work of agricultural machinery for the production of grain crops.

The author proposed a method of modeling the work of agricultural machinery for the production of grain crops, based on the presentation of agricultural machinery for the production of grain crops in the form of separate kinematic schemes and their further research using the methods of kinematic and dynamic analysis and synthesis. The dependencies and regularities of the influence of technical and technological parameters of agricultural machinery for the production of grain crops on indicators of reliability and quality of its work are also presented.

The results of the research during their implementation make it possible to increase the working time of agricultural machinery for the production of grain crops from 7.6 to 120 hours and to ensure the sowing of grain crops in agrotechnical terms, due to the uniform distribution of seeds and their high-quality wrapping, to create more comfortable conditions for the growth of plants, which contribute to the increase harvest

The proposed dependencies and regularities, as well as engineering solutions and methods for assessing operational reliability can be a practical basis for designing new tillage and seeding units, which allow you to perform work with a technological process reliability coefficient of 0.98–0.99.

Key words: agrotechnics, parameter, grain, system engineering, crop production.

IMPLEMENTATION OF INDUSTRY 4.0 AND CIRCULAR ECONOMY STRATEGIES IN ALUMINUM SCRAP PROCESSING

Skuibida Olena

Ph. D., Associate Professor

National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: 0000-0003-1488-8568

eskuybeda@gmail.com

In today's economic and social and political conditions in Ukraine reducing import dependence and production costs, preservation of the environment, and utilization of scrap metal streams are of particular importance. The country has practically lost its own aluminum production, while aluminum is widely applied in all the industries; additionally a significant amount of aluminum scrap is expected as a result of military actions. Aluminum is a circular material that does not lose its properties during processing. One of the ways for improving the economic situation in Ukraine and transition to a circular economy is the production of aluminum alloys from secondary raw materials and products from them. Recycling requires only nearly 5 % of the energy needed to produce the primary metal, resulting in significant decrease of greenhouse gasses emissions, economy efficiency and conservation of natural resources. Circularity plays a leading role in achievement of goals of sustainable development. Production of secondary aluminum alloys is considered as a sustainable activity. However, the use of recycled aluminum alloys for the manufacturing of responsible parts, e.g. used in aviation and automotive industries, is possible with the use of effective sorting and metallurgical processing. The literature search had shown that among the most promising Industry 4.0 technologies in regard to aluminum recycling are the Internet of Things, Virtual Reality, Augmented Reality and artificial intelligence. The world's leading experience has proven the effectiveness of the use of simulated reality, in particular simulated heat treatment, which is an integral part of the aluminum alloys production technology. Machine vision and machine learning are important for sorting of metal scrap, acting its classification. A wide range of studies is dedicated to the specifics of Laser Induced Breakdown Spectroscopy applications, providing smart sorting of aluminum scrap. Some Industry 4.0 technologies are important in the context of occupational safety: digital twins can provide guidance for work performance, cobots can eliminate physical and psycho-physiological harmful and dangerous occupation effects influencing a human, etc. Circular economy (through recycling) and Industry 4.0 are promising solutions to mitigate the negative consequences of manufacturing. Potential and challenges from linking these two paradigms with secondary production, meaning adoption of Industry 4.0 in aluminum recycling, have been analyzed.

Key words: aluminum, recycling, Industry 4.0, circular economy, sustainable development.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.18>

Introduction. The resource- and energy-intensive industries play a key role in the formation of Ukraine's gross domestic product (GDP) (Li et al., 2020; Ostapenko, 2021; Sotnyk, 2015). In 2021 GDP of Ukraine exceeded the GDP of European Union countries by nearly 4 times (WorldData, 2021) that indicates a quite low level of industrial development and low energy efficiency of manufacturing (Bryzhan, 2016; Khalatur et al., 2019; Koval et al., 2021; Vasylieva et al., 2021). Machines and mechanisms are often capital goods with a long life cycle of more than 20 years (Pidorycheva & Antoniuk, 2022; Slobodianiuk & Klochkovskiy, 2022; Sviezhentsev, 2016). The share of overall production in the structure of global greenhouse gasses (GHG) emissions is about 6 %; in Ukraine this indicator reached 18 % before the beginning of military actions (Petrovic et al., 2021; Yang et al., 2022). Regarding aluminum sector it contributes around 4 % of industrial CO₂ emissions (Napp et al., 2014). This necessitates the development of production management (Skuibida, 2021), waste management (Andryeyeva et al., 2021; Kutsevych et al., 2020; Mashchenko et al., 2017; Morone et al., 2022), energy effective production (Mykoliuk, 2018; Smygol et al., 2021; Vasylieva et al., 2021) as key principles of state policy of Ukraine. Minimizing the negative impact on the environment by switching to circular business models (Calinescu et al., 2023; Deineko et al. 2019, Shpak

et al., 2020; Sosnovska & Shtepa, 2020; Trushkina, 2022) is of particular importance.

As a result of military actions on the territory of Ukraine a lot of infrastructure objects and production facilities were already destroyed as well as a significant degradation of the environment is observed (Racioppi et al., 2022; Rawtani et al., 2022). The actions for the recovery of the economy of Ukraine include the modernization of obsolete industrial capacities on the one hand and reconstruction of destroyed ones on the other, which should be based on sustainable development and circular economy principles, Industry 4.0 and Industry 5.0 paradigms. Within the framework of the Recovery Plan of Ukraine, a list of National programs for achieving key results in economic development has been determined. The most prioritized and those that require the largest investments are measures for energy independence and Green Deal, reconstruction of a clean and protected environment, development of sectors of the economy with the added value (development of start-up ecosystems, metallurgy, programs «Engineering: increasing the innovative activity of enterprises» and «Mechanical engineering: to create a hub of automotive components for automotive clusters in Central Europe»), strengthening defense and security (in particular, the State targeted scientific and technical programs for the development of the aviation industry) (Ukraine

Recovery Plan). The necessity of energy policy transformations for sustainable implications are also of great concern (Kuzemko et al., 2022).

Ukraine has joined the global process of sustainable development in order to ensure responsible economic growth and solve ecological problems. Sustainable development goals adopted by the United Nations are reflected in the national strategic framework for Ukraine up to 2030 (United Nations Development Programme; Verkhovna Rada of Ukraine). The concept of circular economy and circular business models has become a priority toolkit for clean environment (Herrero-Luna et al., 2022; Kara et al., 2022; Regueiro et al., 2022; Ruda & Myrka 2020). In the context of implementation of the circular economy paradigm into the state policy, the goal of sustainable development No. 12 "Responsible consumption and production" is of the greatest concern. Among the areas of cooperation between Ukraine and the European Union is the creation of production facilities for waste processing (National Institute for Strategic Studies). Recycling of aluminum corresponds to the set goal; researchers define aluminum as a perfect metal for circular economy (Graedel et al., 2019; Saevardottir et al., 2021; Stewart et al., 2018; Yuzer et al., 2022). What is also important, implementation of circular economy measures in the aluminum industry positively affects the ecological conditions, facilitating the Green Deal (Han et al., 2017; Haupt & Hellweg, 2019).

Aluminum is a strategic metal consumed by practically all the industries of Ukraine, including the aviation and automotive industries, mechanical engineering, defense industry, renewable energy, industrial and civil engineering. Economical demands for aluminum in Ukraine are satisfied mainly by its import. Today and in the perspective of the country's reconstruction as well, there is a need for utilization of a large amount of aluminum scrap, which additionally formed in the result of military actions in order to save currency funds.

One of the priority directions in this context is implementation of Industry 4.0 technologies taking into consideration effects and indicators specific to a definite region and economic sector (Kupalova et al., 2021). It is important to carry out an evaluation of prospects of Industry 4.0 technologies in aluminum manufacturing as well as risk assessment when introducing Industry 4.0 solutions into the recycling sector. One of the possible risks when introducing Industry 4.0 technologies into the recycling of aluminum alloys in Ukraine. In modern conditions circular economy through recycling and Industry 4.0 are promising solutions to mitigate the adverse consequences of production (Blomeke et al., 2020) and can be applied to production of aluminum alloys in Ukraine.

Materials and Methods. The aim of the study is to conduct a literature survey of Industry 4.0 technologies for aluminum recycling in the framework of circular economy. The main tasks of the research is to analyze possibilities of Industry 4.0 technologies for modernization and restoration of machine-building and metallurgical industries for aluminum recycling technological operations. As research methods generalization, systematization, empirical research, systematic and logical approach were used for literature

review of the theoretical basis for Industry 4.0 technologies in aluminum alloys recycling.

Results. Aluminum production presents the fastest growing metal industry (Bhattacharya, 2022; Hao et al., 2016; Saevardottir et al., 2020; Watari et al., 2021; Weritz & Dudek, 2022) and its demand is expected to increase from 64 mt (\$ 169.8 bn) in 2021 to 80 mt (\$ 277.5 bn) by 2030 (Statista; Precedence Research). For manufacturing of aluminum alloys as primary as secondary raw materials are used. About 35 % of currently produced aluminum comes from scrap and industrial waste and up to 40 % is already involved in the production chain (Bertram et al., 2017; International Aluminium Institute).

Recycling of scrap and waste permits to eliminate ecological shortcomings, decrease energy intensity and increase economic efficiency. Aluminum recycling can reduce GHG emissions by nearly 93...95 % in comparison with primary aluminum production (BIR; Hao et al., 2017; Wagiman et al., 2020). According to the estimations (Pedneault et al., 2021), total emissions of 1250...1590 Gt CO₂ eq by 2050 are expected. The authors concluded that to obtain a larger level of carbon emissions it is essential to implement circular strategies and involve interested parts along the whole aluminum value chain.

Secondary aluminum production requires only around 5 % of energy needed for manufacturing of the metal from mineral raw materials (Gutowski et al., 2013; Takezawa et al., 2015; Wei et al., 2022). Depending on the technology aluminum recycling uses the amount of electricity in the volume of 0.56...2.5 kWh/kg Al depending on the technology (Haraldsson & Johansson 2018). Today recycling of aluminum is € 3 bn market. According to expert assessment (European Aluminium) the 1 mln t of exported aluminum scrap leads to economic losses of around € 960 mln. As aluminum consumption in the European Union increases, the end-of-life aluminum market may grow to a € 12 bn by 2050.

Aluminum processing is a constituent part of a circular economy. It is well known that about 75 % of all the aluminum produced since the Industrial Revolution is still involved either in use or manufacturing (Schlesinger, 2013). Aluminum is capable of being recycled without losing its original properties (lightness, conductivity, formability, permeability etc.) (European Aluminium; Chatterjee, 2007). One of the main tasks for the future is to produce recycled aluminum alloys of high quality. To achieve this goal it is essential to create closed loop recycling (Takezawa et al., 2015; Tu & Hertwich, 2021; Zhu et al. 2021), where a waste of one type is processed into a product of the same type; to develop up-to-date recycling chains with efficient sorting; to implement innovative technologies of treatment of aluminum alloys in order to remove harmful impurities, etc. Fostering the design and manufacturing of secondary from the low-quality scrap is among the priorities of modern (Raabe et al., 2022).

With proper sorting (Capuzzi & Timelli, 2018; Gaustad et al., 2012; Van den Eynde et al., 2022), scrap and waste of aluminum can be used to make almost any product – from packaging or construction materials to automotive and aircraft details. As a rule to remove impurities and unwanted elements from the structure of secondary aluminum alloys

physical separation (air, magnetic, sink float / heavy fraction, eddy current separation, hot crush, color sorting, etc.) is used (David & Kopac, 2015). One of the most promising ways to reduce the energy intensity as well to increase mechanical and operational properties of secondary aluminum alloys is to remove part of the technological operations from the working space of the furnace by using refining (Zhao et al., 2022; Wang et al., 2022; Yu et al., 2022) and modification (Jovičević-Klug et al., 2022; Kotadia et al., 2020; Shin et al., 2012; Yamshynskiy et al., 2022). The possibilities of laser treatment (Bielikov et al., 2015; Mitišev et al., 2014) and heat treatment (Hurtalova et al., 2015; Manasijević et al., 2013; Rady et al., 2020) for structural transformations in the alloys are of great concern.

As a rule recycling leads to obtaining aluminum alloys of comparatively low quality, so adverse technologies on different stages of the production chain should be used. Digitalization and robotics in terms of Industry 4.0 can foster recycling and circular economy practices. For recycling of aluminum the main focus should be on better sorting of scrap, end-of-life products and other waste, materials identification technologies and purification technologies as well.

The researchers (Schlund & Baaij, 2018) carried out a classification of Industry 4.0 technologies dividing them into communication technologies (Machine-to-Machine communication, wireline high-performance network, wireless technologies), embedded systems (sensors, microcontrollers, positioning systems), human-machine interaction (virtual reality / augmented reality, mobile assistance systems), software / systems engineering (cloud computing, big data, real-time data) and smart factory (robotics, industrial smart grids, autonomous and decentral control, etc.). The authors (Cao et al., 2015) presented Aluminum Industry 4.0 Architecture for production and supply chain management, based on visual monitoring; Internet of Things; industrial cloud platform for data management; model-driven and big data driven analyses and decision making; standardization and securitization driven control and management; backtracking process; Cyber-Physical System; real-time perception and intelligent decision making.

A comprehensive literature review on connecting Industry 4.0 technologies to circular economy was carried out (Chauhan et al., 2022). According to the results obtained, the Internet of Things and artificial intelligence have the greatest prospects for the development of a circular economy. Reviews on Industry 4.0 technologies with the emphasis of the possibility of application of the Internet of Things, Virtual Reality and Augmented Reality in remanufacturing was carried out (Kerin & Pham, 2019).

Studying Industry 4.0 solutions in recycling the authors (Penumuru et al., 2020) consider a case of utilization of batteries from electric vehicles. They indicate that cobots can support workers eliminating physical and psycho-physiological harmful and dangerous occupation effects (e.g. by handling aluminum casings and battery modules, performing monotonous unscrewing operations). According to calculations, for a yearly recycling capacity of 3500 items of spent batteries and manual disassembly processes (2 workers), the use of cobots integration may result in a cost reduc-

tion of 63,700 € per year. The estimated initial investment is 200,000 €, and it will be needed for approximately three years for the payback.

A digital twin for remanufacturing processes of waste electrical and electronic equipment was developed (Wang & Wang, 2018). Aluminum is widely used in the electrotechnical industry and this solution within a framework of Industry 4.0 may be applied to the recycling of aluminum alloys. The simulated reality, namely simulated annealing, for modeling the process and determining the required parameters of aluminum manufacturing was adopted (Jimenez-Martin et al., 2021).

In the research (Penumuru et al., 2020) machine vision and machine learning technologies for automated aluminum, copper, medium density fiberboard, and mild steel identification were used. In paper (Resti, 2015) the unification of the Principal Discriminant Analysis and Bayes' theorem with images, based on the dependence between edge and color intensity of different aluminum wastes was described. Automatic sorting systems can significantly speed up the aluminum waste classification process.

Smart sorting of aluminum post-consumer scrap into alloys groups is possible with the use of LIBS, Machine Learning and Deep Learning (DL) (Diaz-Romero et al., 2022). For the development and evaluation of DL models for real-time aluminum classification three feature extraction networks were pre-trained, which allowed to process the information from > 200 spectra simultaneously. Previously (Diaz-Romero et al., 2021) the method to classify cast and wrought alloys using transfer learning methods, such as fine-tuning and feature extraction, was presented. Five convolutional neural networks using color and depth images, and transfer learning methods were evaluated. Thus, the presented method can be successfully applied for aluminum sorting and recycling. As the authors (Diaz-Romero et al., 2021, p. 8) point out that "the use of Deep Learning for the sorting of aluminum alloys can be a suitable strategy to eliminate the threat of scrap surplus and significantly increase the value of recycled aluminum".

The other example of linking LIBS and DL for classifying aluminum alloys is a robotic sorting system consisting of a SCARA robot, a vision system, a conveyor and a pneumatic gripper (Engelen et al., 2022). The economic and technical assessment of installation of 2 items of the proposed system, each equipped with 6 robots, had shown that sorting 20,000 t of aluminum with a total added revenue up to 1.95 mln € per year can be reached. Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) used for the manufacturing of secondary aluminum alloys is able to reduce sample preparation times as well as to increase the number of alloying steps for improving the quality of the material (Schlemminger, 2018).

Implementation of Industry 4.0 technologies does not mean the total change of production process and equipment used (Jensen & Remmen, 2017). Data management, the Internet of Things and extended product service systems are linked with the traditional technologies, machines and mechanisms.

New and disruptive business models riven by the use of smart data are emerging around Industry 4.0. Sustaina-

ble business models significantly and continuously enhance positive and reduce negative impacts for the environment, that is quite essential for Ukraine. Basic models for circular economy were analyzed by Ruda & Myrka (Ruda & Myrka, 2020). They are 3 R, 10 R, circular suppliers, resources recovery, sharing platforms, product life extension, product as a service etc. The authors (Schumacher et al., 2016) consider Industry 4.0 Maturity Model in dimensions of “Strategy”, “Leadership”, “Customers”, “Products”, “Operations”, “Culture”, “People”, “Governance”, “Technology”. However, the issue of business-models requires more detailed study in the context of aluminum recycling using Industry 4.0 achievements.

Discussion. The literature review and the analysis of the results of the advanced research managed to formulate the following hypotheses that can be applied for metallurgy and machine-building production in Ukraine:

- Industry 4.0 has a favorable effect on circular economy practices.
- Recycling of aluminum has a positive effect on a transition from the linear to the circular economy.
- Circular economy is an instrument for up-to-date operational, environmental and organizational performances of Ukrainian industries.

- Recycling of aluminum has a great potential for implementation of Industry 4.0 technologies.

- Industry 4.0 can be a driving force for innovations in industrially backward and partly destroyed machine-building and metallurgy sectors in Ukraine and for Ukraine recovery as well.

The author did not find the relevant research / publications that incorporate a general evaluation of Industry 4.0 and circular economy in combination with each other and in relation to recycling of aluminum alloys that determines directions for further research.

Conclusions. Linking Industry 4.0 with circular economy paradigm indicates a positive effect on sustainable development. Aluminum is a perfect circular metal, which can lead to low-carbon manufacturing and zero waste production. Recycling is a promising direction due to expected lower costs and decreased environmental effects. It is expected that the introduction of innovations based on Industry 4.0 in the process of aluminum recycling will reduce Ukraine’s dependence on imports, increase the competitiveness of the economy and level of the industrial development, facilitate disposal of large streams of scrap and, in general, will contribute to the recovery of Ukraine.

References:

1. Aluminum Market. Precedence Research. <https://www.precedenceresearch.com/aluminum-market>
2. Andryeyeva, N., Nikishyna, O., Burkynskyi, B., Khumarova, N., Laiko, O., Tiutiunyk, H. (2021). Methodology of analysis of the influence of the economic policy of the state on the environment. *Insights into Regional Development*, 2021, 3 (2), 198 – 212. [https://doi.org/10.9770/IRD.2021.3.2\(3\)](https://doi.org/10.9770/IRD.2021.3.2(3))
3. Bertram, M., Ramkumar, S., Rechberger, H., Rombach, G., Bayliss, C., Martchek, K. J., Müller, D. B., Liu, G. (2017). A regionally-linked, dynamic material flow modelling tool for rolled, extruded and cast aluminium products. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 48–69. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.05.014=view>
4. Bhattacharya, J. (2022). How Aluminum Industries can Get Involved in Environmental Stewardship. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 70 (4), 161–164. 2022. <https://doi.org/10.18311/jmmf/2022/30062>
5. Bielikov, S. B., Volchok, I. P., Shyrokobokova, N. V., Povzlo V. M. (2015). Koroziiina stiiikist vtorynnykh syluminiv pislia lazernoï obrobky [Corrosion resistance of secondary silumins after laser processing]. *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv. Spetsvypusk «Problemy korozii ta protykoroziiinoho zakhystu materialiv»*, 10, 264–267 (in Ukrainian).
6. Blomeke, S.; Rickert, J.; Mennenga, M.; Thiede, S.; Spengler, T.S.; Herrmann, C. (2020). Recycling 4.0 – Mapping smart manufacturing solutions to remanufacturing and recycling operations. *Procedia CIRP*, (90), 600-605. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.045>
7. Bryzhan, I. A. (2016). Determining key industrial sectors for greening of Ukrainian economy. *Actual Problems of Economics*. № 1 (175), 173–181.
8. Bureau of International Recycling (BIR) Annual report 2019, link: [https://www.bir.org/publications/annual-reports/download/648/100000235/36?The energy required to produce materials: Constraints on energy-intensity improvements, parameters of demand. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences](https://www.bir.org/publications/annual-reports/download/648/100000235/36?The%20energy%20required%20to%20produce%20materials%3A%20Constraints%20on%20energy-intensity%20improvements,%20parameters%20of%20demand), 371. <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0003>
9. Calinescu, T., Likhonosova, G., Zelenko, O. (2023). Circular Economy: Ukraine’s Reserves and the Consequences of the Global Recession. In: Koval, V., Kazancoglu, Y., Lakatos, ES. (eds) *Circular Business Management in Sustainability. ISCMEE 2022. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23463-7_16
10. Cao, B., Wang, Z., Shi, H., Yin, Y. Research and Practice on Aluminum Industry 4.0. *Sixth International Conference on Intelligent Control and Information Processing* (pp. 517–521). November 26–28, 2015. Wuhan, China. <https://doi.org/10.1109/ICICIP.2015.7388226>
11. Capuzzi, S., Timelli, G. (2018). Preparation and Melting of Scrap in Aluminum Recycling: A Review. *Metals*, 8 (4), 249. <https://doi.org/10.3390/met8040249>
12. Chatterjee, K. K. (2007). *Uses of metals and metallic minerals*. New Age International.
13. Chauhan, C., Parida, V., Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promise. *Technological Forecasting & Social Change*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
14. Circular Aluminium Action Plan. A strategy for achieving aluminium’s full potential for circular economy by 2030. European Aluminium. <https://european-aluminium.eu/media/2903/european-aluminium-circular-aluminium-action-plan.pdf>

15. David, E., Kopac, J. (2015). Use of Separation and Impurity Removal Methods to Improve Aluminium Waste Recycling Process. *Materials Today: Proceedings*, 2, 5071–5079. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.10.098>
16. Deineko, L., Tsyplitska, O., Deineko, O. (2019). Opportunities and barriers of the Ukrainian industry transition to the circular economy. *Environmental Economics*, 10 (1), 79–92. [https://doi.org/10.21511/ee.10\(1\).2019.06](https://doi.org/10.21511/ee.10(1).2019.06)
17. Díaz-Romero, D., Sterkens, W., Van den Eynde, S., Goedem' e, T., Dewulf, W., Peeters, J. (2021). Deep learning computer vision for the separation of Cast- and Wrought-Aluminum scrap. *Resources, Conservation and Recycling*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105685>
18. Díaz-Romero, D. J., Van den Eynde, S., Sterkens, W., Eckert, A., Zaplana, I., Goedem' e, T., Peeters, J. (2022). Real-time classification of aluminum metal scrap with laser-induced breakdown spectroscopy using deep and other machine learning approaches. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2022.106519>
19. Engelen, B., De Marelle, D., Diaz-Romero, D. J., Van den Eynde, S., Zaplana, I., Peeters, J. R., Kellens, K. (2022). Techno-Economic Assessment of Robotic Sorting of Aluminium Scrap. *Procedia CIRP*, 105, 152–157. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.026>
20. Gardashuk, T. (2022). Environmental Threats of War in Ukraine. *Envigogika*, 17 (1). <https://doi.org/10.14712/18023061.639>
21. Gaustad, G., Olivetti, E., Kirchain, R. (2012). Improving aluminum recycling: A survey of sorting and impurity removal technologies. *Resources, Conservation and Recycling*, 58, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.10.010>
22. Global aluminum consumption projections from 2021 to 2029. Statista. <https://bit.ly/3WJz330>
23. Graedel, T.E., Reck, B.K., Ciacci, L., Passarini, F. (2019). On the Spatial Dimension of the Circular Economy. *Resources*, 8 (1), 32. <https://doi.org/10.3390/resources8010032>
24. Gutowski, T. G., Sahni, S., Allwood, J. M., Ashby, M. F., Worrell E. (2013) The energy required to produce materials: Constraints on energy-intensity improvements, parameters of demand. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371. <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0003>
25. Han, F., Liu, Y., Liu, W., Cui, Z. (2017). Circular economy measures that boost the upgrade of an aluminum industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1289–1296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.115>
26. Hao, H., Qiao, Q., Liu, Z., Zhao, F. (2017). Impact of recycling on energy consumption and greenhouse gas emissions from electric vehicle production: The China 2025 case. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.005>
27. Hao, P., Geng, Y., Hang, W. (2016). GHG emissions from primary aluminum production in China: Regional disparity and policy implications. *Applied Energy*, 166, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.056>
28. Haraldsson, J., Johansson, M. T. (2018). Review of measures for improved energy efficiency in production-related processes in the aluminium industry – From electrolysis to recycling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 525–548. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.043>
29. Haupt, M., Hellweg, S. (2019). Measuring the environmental sustainability of a circular economy. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100005>
30. Herrero-Luna, S., Ferrer-Serrano, M., Latorre-Martinez, M. P. (2022). Circular economy and innovation: a systematic literature review. *Central European Business Review*, 11 (1), 65–84. <https://doi.org/10.18267/j.cebr.275>
31. Hortalova, L., Tillova, E., Chalupova, M. (2015). Possibilities of Fe-rich Phases elimination with using heat treatment in secondary Al-Si-Cu cast alloys. *Metalurgija*, 54 (1), 39–42.
32. Indicators of economy in Ukraine. <https://www.worlddata.info/europe/ukraine/economy.php>
33. International Aluminium Institute. Global Aluminium Cycle 2021. <https://alucycle.international-aluminium.org/public-access/>
34. Jensen, J.P.; Remmen, A. (2017). Enabling Circular Economy through product stewardship. *Procedia Manufacturing*, (8), 377–384. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.048>
35. Jimenez-Martin, A.; Mateos, A.; Hernandez, J.Z. (2021). Aluminium Parts Casting Scheduling Based on Simulated Annealing. *Mathematics*, 9 (7), 741. <https://doi.org/10.3390/math9070741>
36. Jovicevic-Klug, M., Tegg, L., Jovicevic-Klug, P., Drazic, G., Almasy, L., Lim, B., Cairney, J. M., Podgornik, B. (2022). Multiscale modification of aluminum alloys with deep cryogenic treatment for advanced properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 3062–3073. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.089>
37. Kara, S.; Hauschild, M.; Sutherland, S.; Mc Aloned, T. (2022). Closed-loop systems to circular economy: A pathway to environmental sustainability? *CIRP Annals*, 71 (2), 505–528. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2022.05.008>
38. Kerin, M.; Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 237, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117805>
39. Khalatur, S., Stachowiak, Z., Zhylenko, K., Honcharenko, O., Khalatur, O. (2019). Financial instruments and innovations in business environment: European countries and Ukraine. *Investment Management and Financial Innovations*, 16 (3), 275–291. [https://doi.org/10.21511/imfi.16\(3\).2019.25](https://doi.org/10.21511/imfi.16(3).2019.25)
40. Kotadia, H. R., Qian, M., Das, A. (2020). Microstructural modification of recycled aluminium alloys by high-intensity ultrasonication: Observations from custom Al–2Si–2Mg–1.2Fe–(0.5,1.0)Mn alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 823. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.153833>
41. Koval, V., Olczak, P., Vdovenko, N., Boiko, O., Matuszewska, D., Mikhno, I. (2021). Ecosystem of Environmentally Sustainable Municipal Infrastructure in Ukraine. *Sustainability*, 13 (18). <https://doi.org/10.3390/su131810223>
42. Kupalova, H., Ignatyuk, A., Goncharenko, N., Andrusiv, U., Kopetska, Y. (2021). Efficient use of energy resources in the context of sustainable development of the pulp and paper industry of Ukraine. *Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2021)*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128005011>

43. Kutsevych, M., Yara, O., Golovko, L., Terpeliuk, V. (2020). Sustainable Approaches to Waste Management: Regulatory and Financial Instruments. *European Journal of Sustainable Development*, 9 (2), 163–171. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n2p163>
44. Kuzemko, C., Blondeel, M., Dupont, C., Brisbois, M. C. (2022). Russia's war on Ukraine, European energy policy responses & implications for sustainable transformations. *Energy Research & Social Science*, 93.
45. Li, R., Jiang, H., Sotnyk, I., Kubatko, O., & Almashaqbeh, Y. A. I. (2020). The CO₂ Emissions Drivers of Post-Communist Economies in Eastern Europe and Central Asia. *Atmosphere*, 11 (9). <https://doi.org/10.3390/atmos11091019>
46. Manasijevic, S., Marcovic, S., Acimovic, Z. (2013). Effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of piston alloys. *Materiali i tehnologii*, 47 (5), 585–591.
47. Mashchenko, M., Klimenko, O., Dykan, O. (2017). Optimization of expenditures on environmental actions in Ukraine. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (37), 25–30.
48. Mitiaiev, O. A., Volchok, I. P., Loza, K. M., Hnatenko, O. V., Lukinov V. V. (2014). Zabezpechennia vysokoi yakosti vtorynykh syluminiv [Ensuring the high quality of secondary silumins]. *Visnyk dvyhunobuduvannia*, 1, 136–142 (in Ukrainian).
49. Morone, P., Sica, E., Makarchuk, O. (2020). Chapter 1 – From waste to value: assessing the pressures toward a sustainability transition of the Ukrainian waste management system, *Innovation Strategies in Environmental Science Elsevier*, 1-32. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817382-4.00001-0>
50. Mykoliuk O. (2018). Priority trends in ensuring the energy security of Ukraine in the terms of Eurointegration. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. 1 (3), 116–123. <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.116>
51. Napp, T. A., Gambhir, A., Hills, T. P., Florin, N., Fennell, P. S. (2014). A review of the technologies, economics and policy instruments for decarbonising energy-intensive manufacturing industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 30, 616–640. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.036>
52. Napriamky derzhavnoi polityky shchodo ekolohizatsii natsionalnoi ekonomiky [Directions of state policy regarding the greening of the national economy]. Analytical note. National Institute for Strategic Studies of Ukraine (in Ukrainian). <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/napryamki-derzhavnoi-politiki-schodo-ekologizatsii-nacionalnoi>
53. Ostapenko, O. (2021). Estimation of tendencies of transforming the energy sectors of world, European Union and Ukraine in the perspective to 2050 with using the renewable energy sources in the concept of sustainable development. *Social capital: vectors of development of behavioral economics: collective monograph*, 100–139, ACCESS Press Publishing house, Veliko Tarnovo, Bulgaria. <https://doi.org/10.46656/book.2021.social.capital>
54. Pedneault, J., Majeau-Bettez, G., Krey, V., Margni, M. (2021). What future for primary aluminium production in a decarbonizing economy? *Global Environmental Change*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102316>
55. Penumuru, D. P.; Muthuswamy, S.; Karumbu, P. (2020). Identification and classification of materials using machine vision and machine learning in the context of industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 1229–1241. <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01508-6>
56. Petrović, S.N., Diachuk, O., Podolets, R., Semeniuk, A., Bühler, F., Grandal, R., Boucenna, M., Balyk, O. (2021). Exploring the Long-Term Development of the Ukrainian Energy System. *Energies*, 14 (22). <https://doi.org/10.3390/en14227731>
57. Pidorycheva, I. Yu., & Antoniuk, V. P. (2022). Modern development trends and prospects for innovation in the technology-intensive sectors of Ukraine's industry. *Science and Innovation*. 18 (1), 3-19. <https://doi.org/10.15407/scine18.01.003>
58. Raabe, D., Ponge, D., Uggowitzer, P. J., Roscher, M., Paolantonio, M., Liu, C., Antrekowitsch, H., Kozeschnik, E., Seidmann, D., Gault, B., De Geuser, F., Deschamps, A., Hutchinson, C., Liu, C., Li, Z., Prangnell, P., Robson, J., Shanthraj, P., Vakili, S., Sinclair, C., Bourgeois, L., Pogatscher, S. (2022). Making sustainable aluminum by recycling scrap: The science of “dirty” alloys. *Progress in Materials Science*, 128.
59. Racioppi, F., Rutter, H., Nitzan, D., Borojevic, A., Carr, Z., Grygaski, T. J., Jarosinska, D., Netanyahu, S., Schmoll, O., Stuetzle, K., Van Den Akker, A., Kluge, H. H. P. (2022). The impact of war on the environment and health: implications for readiness, response, and recovery in Ukraine. *The Lancet Discovery Science*, 400 (10356), 871-873. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01739-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01739-1)
60. Rady, M. H., Mustapa, M. S., Wagiman, A., Shamsudin, S., Lajis, M. A., Alimi, S. A., Mansor, M. N., Harimon, M. A. (2020). Effect of the Heat treatment on Mechanical and Physical Properties of Direct Recycled Aluminium Alloy (AA6061). *International Journal of Integrated Engineering*, 12 (3), 82–89. <https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.03.011>
61. Rawtani, D., Gupta, G., Khatri, N., Rao, P. K., Hussain, C. M. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective, *Science of The Total Environment*, 850. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>
62. Regueiro, L., Newton, R., Soula, M., Méndez, D., Kok, B., Little, D. C., Pastres, R., Johansen, J., Ferreira M. (2022). Opportunities and limitations for the introduction of circular economy principles in EU aquaculture based on the regulatory framework. *Journal of Industrial Ecology*, 26, 2033–2044.
63. Resti, Yu. (2015). Dependence in Classification of Aluminium Waste. *Journal of Physics: Conference Series*, 622. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/622/1/012052>
64. Ruda, M. V., Myrka, Ya. V. (2020). Tsyrukliarni biznes-modeli v Ukraini [Circular Business Models in Ukraine]. *Management and Entrepreneurship in Ukraine: the stages of formation and problems of development*, 2 (1), 107–121 (in Ukrainian). <http://doi.org/10.23939/smeu2020.01.107>
65. Saevarsdottir, G., Kvande, H., Welch, B.J. (2020). Aluminum Production in the Times of Climate Change: The Global Challenge to Reduce the Carbon Footprint and Prevent Carbon Leakage. *JOM*, 72, 296–308. <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03918-6>

66. Saevarsdottir, G., Magnusson, T. & Kvannd, H. (2021). Reducing the Carbon Footprint: Primary Production of Aluminum and Silicon with Changing Energy Systems. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 7, 848–857. <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00429-0>
67. Schlemminger, A. (2018). Smart aluminium production processes in times of Industry 4.0. *Aluminium International Today*, 31 (4), 44. <https://www.proquest.com/docview/2117727491?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>
68. Schlesinger, M. E. (2013). *Aluminum recycling: Second edition* (2013). <https://doi.org/10.1201/b16192>
69. Schlund, S.; Baaij, F. (2018). Describing the technological scope of Industry 4.0 – a review of survey publications. *LogForum*, 14 (3), 341–353. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2018.289>
70. Shin, S.-S., Kim, E.-S., Yeom, G.-Y., Lee, J.-C. (2012). Modification effect of Sr on the microstructures and mechanical properties of Al–10.5Si–2.0Cu recycled alloy for die casting. *Materials Science and Engineering: A*, 532, 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.10.076>
71. Shmygol, N., Galtsova, O., Shaposhnykov, K., Bazarbayeva, S. (2021). Environmental management policy: an assessment of ecological and energy indicators and effective regional management (on the example of Ukraine). *Energy policy journal*, 24 (4), 43–60. <https://doi.org/10.33223/epj/143836>
72. Shpak, N., Kuzmin, O., Melnyk, O., Ruda, M., Sroka, W. (2020). Implementation of a Circular Economy in Ukraine: The Context of European Integration. *Resources*, 9 (8), 96. <https://doi.org/10.3390/resources9080096>
73. Skuibida, O. L. *Perspektyvy dekarbonizatsii promyslovosti Ukrainy dlia zapobihannia zminy klimatu [Prospects of decarbonisation of industry of Ukraine to prevent climate change]*. Eko Forum – 2021: zbirnyk tez dopovidei V spetsializovanoho mizhnarodnogo Zaporizkoho ekolohichnoho forumu (pp. 38–39). September 14–16, 2021. Zaporizhzhia, Ukraine: Zaporizka torhovo–promyslova palata.
74. Slobodianiuk, K. O., Klochkovskiy, O. V. *Innovatsii yak faktor pidvyshchennia konkurentospomozhnosti produktsii vitchyznianoho mashynobuduvannia [Innovations as a factor increasing the competitiveness of domestic engineering products]*. Suchasna molod v sviti informatsiinykh tekhnolohii»: materialy III VseUkrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii molodykh vchenykh ta zdobuvachiv vyshchoi osvity prysviachenoi Dniu nauky (pp. 50–52). May 16, 2022, Kherson, Kropyvnytskyi, Ukraine: Knyzhkove vydavnytstvo FOP Vyshemyrskiy V. S. (in Ukrainian).
75. Sosnovska, O., Shtepa, O. (2020). Actual Aspects of Circular Economy Development. *Advances in Economics, Business and Management Research*, volume 129: proceedings of the III International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence 2020 (ISC-SAI 2020), 201–207. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200318.025>
76. Sotnyk, I. N., Dehtyarova, I. B., Kovalenko, Y. V. (2015). Current threats to energy and resource efficient development of Ukrainian economy. *Actual Problems of Economics*. № 11 (173), 137–145.
77. Stewart, R., Niero, M., Murdock, K., Olsen, S. I. (2018). Exploring the Implementation of a Circular Economy Strategy: The Case of a Closed-loop Supply of Aluminum Beverage Cans. *Procedia CIRP*, 69, 810–815. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.006>
78. Schumacher, A., Erol, S., Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
79. *Sustainable Development Strategy for Ukraine by 2030*. United Nations Development Programme. <https://www.undp.org/ukraine/publications/sustainable-development-strategy-ukraine-2030>
80. Sviezhentsev, O. O. (2016). *Perspektyvy rozvytku mashynobudivnoi haluzi Ukrainy: formuvannia novoi kontseptsii promyslovoi polityky [Prospects for the development of the machine-building industry of Ukraine: the formation of a new concept of industrial policy]*. *Upravlinnia rozvytkom*, 2 (184), 12–19 (in Ukrainian).
81. Takezawa, T., Uemoto, M. & Itoh, K. (2015). Combination of X-ray transmission and eddy-current testing for the closed-loop recycling of aluminum alloys. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17, 84–90. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0228-4>
82. Trushkina N. (2022). Green economy in the conditions of modern challenges: conceptual frameworks. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*, 1 (1), 1–6. <https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20220101.1>
83. Tu, Q., Hertwich E. G. (2021). A mechanistic model to link technical specifications of vehicle end-of-life treatment with the potential of closed-loop recycling of post-consumer scrap alloys. *Journal of Industrial Ecology*, 26 (3), 667–1154. <https://doi.org/10.1111/jiec.13223>
84. *Ukraine Recovery Plan*. <https://recovery.gov.ua>
85. Van den Eynde, S., Bracquene, E., Diaz-Romero, D., Zaplana, I., Engelen, B., Dufloy, J. R., Peeters, J. R. (2022). Forecasting global aluminium flows to demonstrate the need for improved sorting and recycling methods. *Waste Management*, 137, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.019>
86. Vasylieva, T., Pavlyk, V., Bilan, Y., Mentel, G., Rabe, M. (2021). Assessment of Energy Efficiency Gaps: The Case for Ukraine. *Energies*, 14 (5), 1323. <https://doi.org/10.3390/en14051323>
87. Wagiman, A., Mustapa, M.S., Asmawi, R., Shamsudin, S., Lajis, M. A., Mutoh, Y. (2020). A review on direct hot extrusion technique in recycling of aluminium chips. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106, 641–653. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04629-7>
88. Wang, M., Guo, Y., Wang, H., Zhao, S. (2022). Characterization of Refining the Morphology of Al–Fe–Si in A380 Aluminum Alloy due to Ca Addition. *Processes*, 10, 672. <https://doi.org/10.3390/pr10040672>
89. Wang, Xi Vi & Wang, W. (2018). Digital twin-based WEEE recycling, recovery and remanufacturing in the background of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, (Vol. 57, No. 12), 3892–3902. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1497819>
90. Watari, T., Nansai, K., Nakajima, K. (2021). Major metals demand, supply, and environmental impacts to 2100: A critical review, *Resources, Conservation and Recycling*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105107>

91. Wei, H., Luo, K., Xing, J., Fan, J. (2022). Predicting co-pyrolysis of coal and biomass using machine learning approaches, *Fuel*, 310. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122248>
92. Weritz, J., Dudek, M. (2022). Aluminum Roadmap to a Sustainable Future. In: Lazou, A., Daehn, K., Fleuriaux, C., Göknelma, M., Olivetti, E., Meskers, C. (eds) *REWAS 2022: Developing Tomorrow's Technical Cycles (Volume I)*. The Minerals, Metals & Materials Series, 3–6. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92563-5_1
93. Yamshynskiy, M. M., Selivorstov, V.Yu., Lukianenko, I. V., Kyvgylo, B.V. (2022). Vplyv modyfikuvannya vysokodispersnym karbidom kremniu na lyvarni vlastyvoli vtorynnoho splavu systemy Al-Si. [Influence of Modification with Highly Dispersed Silicon Carbide on the Casting Properties of the Secondary Alloy of the Al-Si System] *Metall i lit'e Ukrainy*, 30 (1), 77–83 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.077>
94. Yang, M., Cela, B. & Yang, F. (2020). Innovative energy policy to transform energy systems in Ukraine. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 25, 857–879. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09898-x>
95. Yu, J.M., Hashimoto, T., Li, H.T., Wanderka, N., Zhang, Z., Cai, C., Zhong, X. L., Qin, J., Dong, Q.P., Nagaumi, H., Wang, X.N. (2022). Formation of intermetallic phases in unrefined and refined AA6082 Al alloys investigated by using SEM-based ultramicrotomy tomography. *Journal of Materials Science & Technology*, 120, 118-128, <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2022.02.007>
96. Yuzer, B., Aydin, I. M., Yildiz, H., Hasançebi, B., Selcuk, H., Kadmind, Y. (2022). Optimal performance of electro dialysis process for the recovery of acid wastes in wastewater: Practicing circular economy in aluminum finishing industry. *Chemical Engineering Journal*, 434. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.134755>
97. Zalakeviciute, R., Mejia, D., Alvarez, H., Bermeo, X., Bonilla-Bedoya, S., Rybarczyk, Y., Lamb, B. (2022). War Impact on Air Quality in Ukraine. *Sustainability*, 14 (21). <https://doi.org/10.3390/su142113832>
98. Zhao, Yu., He, W., Song, D., Shen, F., Li, X., Sun, Z., Wang, Y., Liu, S., Du, Y., Fernández, R. (2022). Effect of ultrasonic melt processing and Al-Ti-B on the microstructural refinement of recycled Al alloys. *Ultrasonics Sonochemistry*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106139>
99. Zhu, Y., Chappuis, L. B., Kleine, R. D., Kim, H. C., Wallington, T. J., Luckey, G., Cooper, D. R. (2021). The coming wave of aluminum sheet scrap from vehicle recycling in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105208>

Скуйбіда О. Л., кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна

Впровадження стратегій Індустрії 4.0 та циркулярної економіки в переробці алюмінієвого брухту

В сучасних економічних і соціально-політичних умовах в Україні особливого значення набувають зниження імпортозалежності та собівартості виробництва, збереження навколишнього середовища, а також утилізація потоків металобрухту. Країна практично втратила власне виробництво алюмінію, тоді як алюміній широко використовується в усіх галузях промисловості; додатково очікується значна кількість алюмінієвого брухту в результаті військових дій. Алюміній – циркулярний матеріал, який не втрачає властивостей при переробці. Одним із шляхів покращення економічної ситуації в Україні та переходу до циркулярної економіки є виробництво алюмінієвих сплавів із вторинної сировини та виробів з них. Рециклінг потребує тільки близько 5 % енергії, необхідної для виробництва первинного металу, що приводить до значного зниження викидів парникових газів, економічної ефективності та збереження природних ресурсів. Циркулярність відіграє провідну роль у досягненні цілей сталого розвитку. Виробництво вторинних алюмінієвих сплавів вважається сталим видом діяльності. Однак використання алюмінієвих сплавів вторинних, отриманих рециклінгом, для виготовлення відповідальних деталей, наприклад таких, що використовується в авіаційній та автомобільній промисловості, можлива при застосуванні ефективних сортування та металургійної переробки. Літературний пошук показав, що серед найбільш перспективних технологій Індустрії 4.0 щодо рециклінгу алюмінію є Інтернет речей, віртуальна реальність, доповнена реальність та штучний інтелект. Передовий світовий досвід рециклінгу алюмінію довів ефективність використання симуляції реальності, зокрема імітаційної термообробки, яка є невід'ємною частиною технології виробництва алюмінієвих сплавів. Машинне бачення та машинне навчання важливі для сортування металобрухту, здійснення його класифікації. Широкий спектр досліджень присвячений особливостям застосування лазерно-індукованої спектроскопії пробою, що забезпечує “розумне” сортування алюмінієвого брухту. Деякі технології Індустрії 4.0 важливі в контексті безпеки праці: цифрові близнюки можуть надавати рекомендації щодо виконання роботи, роботами можна ліквідувати фізичні та психофізіологічні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які впливають на людину тощо. Циркулярна економіка (шляхом рециклінгу) та Індустрія 4.0 є перспективними рішеннями для пом'якшення негативних наслідків виробництва. Було проаналізовано потенціал і проблеми, пов'язані з об'єднанням цих двох парадигм із вторинним виробництвом, що означає впровадження Індустрії 4.0 в рециклінг алюмінію.

Ключові слова: алюміній, рециклінг, Індустрія 4.0, циркулярна економіка, сталий розвиток.

ІНЖЕНЕРНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО МАШИНОВИКОРИСТАННЯ

Тітова Людмила Леонідівна

кандидат технічних наук, доцент

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

ORCID: 0000-0001-7313-1253

l_titova@nubip.edu.ua

В статті сформульовані методичні засади підвищення ефективності технічного сервісу сільськогосподарської техніки підприємств АПК на базі її інформаційного забезпечення. Розроблена структура технічного сервісу районного рівня з урахуванням сучасних особливостей, перспектив розвитку та вимог до матеріально-технічного забезпечення, технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки. На підставі проведених досліджень процесів руху та обробки внутрішньої інформації було визнано доцільним, за її відбору, використовувати метод комбінованого анкетного та вибіркового обстеження. Що ж до методики відбору зовнішньої інформації, то цьому випадку передбачається вести відбір за якісним складом інформації з допомогою експертних оцінок. Формування експертної групи проводилося за критерієм максимальної узгодженості думок її членів, за умови, що експерти, що залучаються, мають високий ступінь компетентності в предметній галузі.

В статті проведені дослідження виробничої діяльності підприємств технічного сервісу рекомендується використовувати локальні комп'ютерні мережі, що включають автоматизоване робоче місце фахівців, що дозволяє здійснювати оперативне керівництво всіма ланками технічного процесу з обслуговування та ремонту машин. На основі розроблених методик створено програмний продукт для швидкого пошуку необхідної та достатньої інформації фахівцю чи керівнику підприємства технічного сервісу. В результаті реалізації розроблених та впроваджених на підприємствах технічного сервісу вищезазначених заходів було отримано наступні практичні результати: трудомісткість при проведенні першого зменшилася в середньому на 7,8%, при другому на 8,2%, при сезонному на 9% та при поточному ремонті на 22%. Отримано закономірність залежності часу, що витрачається на технічне обслуговування та ремонт від повноти інформації показує, що чим повніше база даних, тим менше часу витрачається на прийняття рішень та проведення робіт. Таким чином, на підставі проведених досліджень у статті можна констатувати, що при переході сільгосппідприємств на стратегію обслуговування за станом машин – на основі безрозбірного діагностування і при використанні в технологіях технічного сервісу розробленої методики, трудомісткість усіх видів робіт може бути значно знижена, в середньому на 20-25%, а частота відмов складової частини може становити лише 1%.

Ключові слова: амортизація, діагностування, технічний сервіс, сільськогосподарська машина

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.19>

Постановка проблеми. Основними завданнями, що стоять перед АПК України в даний час є: подолання спаду в агропромисловому виробництві, оснащення сільськогосподарства новою сучасною технікою (Gyansah & Ansah, 2020), відновлення та розвиток вітчизняного сільськогосподарського машинобудування. У разі невиконання цих завдань, знос основних виробничих потужностей підприємств стане незворотним (Nykyforchyn et al., 2019), оскільки раніше створений у галузі технічний потенціал практично витрачено (Kypris et al., 2016). Забезпеченість підприємств сільськогосподарською технікою знизилася на 40-60%. Зношування техніки досягло 75%. Темпи її щорічного вибуття у 3-4 рази випереджають темпи оновлення. За збереження такої тенденції через 3 роки виконувати механізовані роботи не буде чим (Kuzmich et al., 2021).

У зв'язку з цим необхідно провести структурні перетворення, що стосуються всіх підрозділів комплексу, від виробників до споживачів, у тому числі допоміжні галузі, такі як технічний сервіс і ринок уживаної техніки. Ключовою ланкою технічного сервісу є система технічного обслуговування і ремонту (ТОР), спрямовану підтримку техніки у працездатному стані, забезпечення високого ступеня технічної готовності машинно-тракторного парку

до виконання сільськогосподарських робіт, зниження частки наведених витрат у собівартості виробленої продукції (Rejovitzky & Altus, 2013).

На основі аналізу наукової літератури та накопичених фахівцями досліджень проведення ремонтно-технічних робіт на підприємствах сервісного та технічного обслуговування АПК (Rogovskii et al., 2021a), було зроблено висновок, що недостатня наявність, а іноді й повна відсутність необхідної інформації значно ускладнює (Sánchez-Hermosilla et al., 2011), а в деяких випадках унеможливорює проведення якісного обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки. Крім того, було з'ясовано, що для пошуку та обробки вже наявної інформації витрачається значний час, причому в силу низки суб'єктивних ознак може бути спотвореною, не повною або надходити невчасно і не за адресою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи стан машинно-тракторного парку Житомирської області можна відмітити, що останні 10 років машинно-тракторний парк зменшився на 50-60% (Rogovskii et al., 2021b). Близько 80% машин використовуються за межами амортизаційного терміну (Pisarenko et al., 2019). Готовність техніки знизилася до 40-75% через

збільшення віку та зниження напрацювання на відмову (Tyutrin, 2019).

Ці цифри свідчать про необхідність розробки цілого комплексу заходів з підтримки парку машин у працездатному стані, планування та проведення яких потребує чітко налагодженої інформаційної системи (Yezeqyan et al., 2020).

З іншого боку, останніми роками спостерігається тенденція зростання використання в сільськогосподарських підприємствах іноземної техніки (Rogovskii et al., 2021b). Так, в Житомирській області в 2021 р. використовувалися комбайни «Case» у кількості 16 штук. Велику допомогу в їхньому обслуговуванні та ремонті може надати система інформаційного забезпечення (Rogovskii, 2020).

Нині ведуться дослідження щодо підвищення технічного рівня наявних машин та ресурсів до рівня нових шляхом їх модернізації при ремонті та організації вторинного ринку уживаної техніки. На вирішення цих завдань спрямовані роботи (Voinalovych et al., 2019), пов'язані з утилізацією та поверненням у сферу використання вузлів та деталей списаної техніки (Nazarenko et al., 2021), а також роботи (Khamidullina et al., 2017) та з розробки нових технологій з відновлення та зміцнення деталей машин (Gurcanli et al., 2015).

Крім того, у Стратегії розвитку технічного сервісу АПК вироблено концепцію розвитку мережі машинно-тракторного парку як структури, що найбільше сприяє науково-технічному прогресу в аграрному секторі (Corinne & José, 2017).

Для успішної реалізації програми вдосконалення системи технічного сервісу сільськогосподарської техніки необхідний новий підхід до її організації. Виробнича база технічного сервісу має зазнати змін на всіх рівнях. У зв'язку з цим було взято за мету, розробити нову форму організації технічного обслуговування та ремонту машин в АПК на основі створення дилерської служби.

Аналіз літературних джерел дозволив дійти певного висновку, що з організації сучасної системи технічного обслуговування та ремонту необхідно враховувати і звертатися до новітніх технологій і розробок у сферах, вивчення способів збирання, обробки, зберігання та передачі, інформаційного забезпечення процесів виробництва та управління (Shih-Heng et al., 2018).

У зв'язку з цим, запропоновано ввести до структури управління інженерною службою на сільськогосподарському підприємстві інформаційно-аналітичний відділ підприємства та включити до відділу головного інженера – спеціаліста з інформатизації, що дозволить керівникам та спеціалістам технічного сервісу оптимально та ефективно отримувати та переробляти весь необхідний об'єм даних у межах своєї діяльності підвищення результативності своєї роботи (Zou et al., 2017).

Створення необхідного інформаційного забезпечення можливе при використанні сучасних методів управління, що базуються на застосуванні електронно-обчислювальної техніки та економіко-математичних методів, сучасної організаційної техніки (Aven, 2016).

Комп'ютеризація виробничої та управлінської діяльності найефективніша при створенні автоматизованих

робочих місць (Erokhin et al., 2019). Тому мною пропонується один із варіантів створення мережі АРМ сільськогосподарського підприємства та мережі АРМ відділу управління сільським господарством на рівні обласного аграрного сектору (Najafi et al., 2015).

Висока ефективність використання автоматизованих робочих місць досягається при об'єднанні в єдину обчислювальну мережу. Функціонування таких обчислювальних мереж доцільно з урахуванням ієрархічної структури управління. На нижньому рівні, тобто на підприємствах та організаціях АПК встановлюються персональні комп'ютери, що мають локальний банк даних та підключаються до АПК районного рівня (Chen et al., 2020).

На районному рівні створюються автоматизовані робочі місця керівника районного формування, спеціалістів окремих служб (відділів), які об'єднані в єдину систему. Районна мережа АРМ повинна мати вихід на найвищий рівень управління (Hrynkiv et al., 2020).

З метою розробки необхідного та достатнього інформаційного забезпечення, що істотно впливає на вдосконалення технічного сервісу, було проведено огляд руху інформаційних потоків підприємства технічного сервісу (Nazarenko et al., 2020).

Таким чином, на основі проведеного аналізу стану технічного сервісу ставиться завдання роботи – розробка питань організації технічного сервісу на основі більш досконалого інформаційного забезпечення.

Метою досліджень є дослідження технологічних процесів та вдосконалення організації технічного сервісу на підприємствах АПК з використанням сучасних інформаційних технологій.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження є система технічного обслуговування та ремонту, а також документальний інформаційний потік, який впливає на вдосконалення системи технічного сервісу. Для розробки загального методологічного підходу до вирішення питань вдосконалення організації технічного сервісу було застосовано системний підхід. З погляду системного підходу підприємство технічного сервісу АПК, розглядається як відносно відокремлена структура, що складається з різних елементів, які взаємодіють між собою та з навколишнім (зовнішнім) середовищем.

Враховуючи сучасні особливості, перспективи розвитку та вимоги до технічного обслуговування та ремонту було запропоновано організаційну структуру технічного сервісу на рівні району, представлену на рисунку 1.

Дослідження процесу управління технічним станом машини дозволило нам визначити роль та необхідність використання інформації для ухвалення рішення. В результаті запропоновано запровадити на всіх етапах використання інформаційних технологій, зокрема використання баз даних та баз знань спеціалістів.

У процесі вдосконалення системи технічного сервісу було обрано систему планово-попереджувального обслуговування та ремонту, що є структурою взаємозалежних підсистем.

Дослідження технологічного процесу та принципів організації системи технічного обслуговування та ремонту дозволили зробити висновок, що, як і в будь-

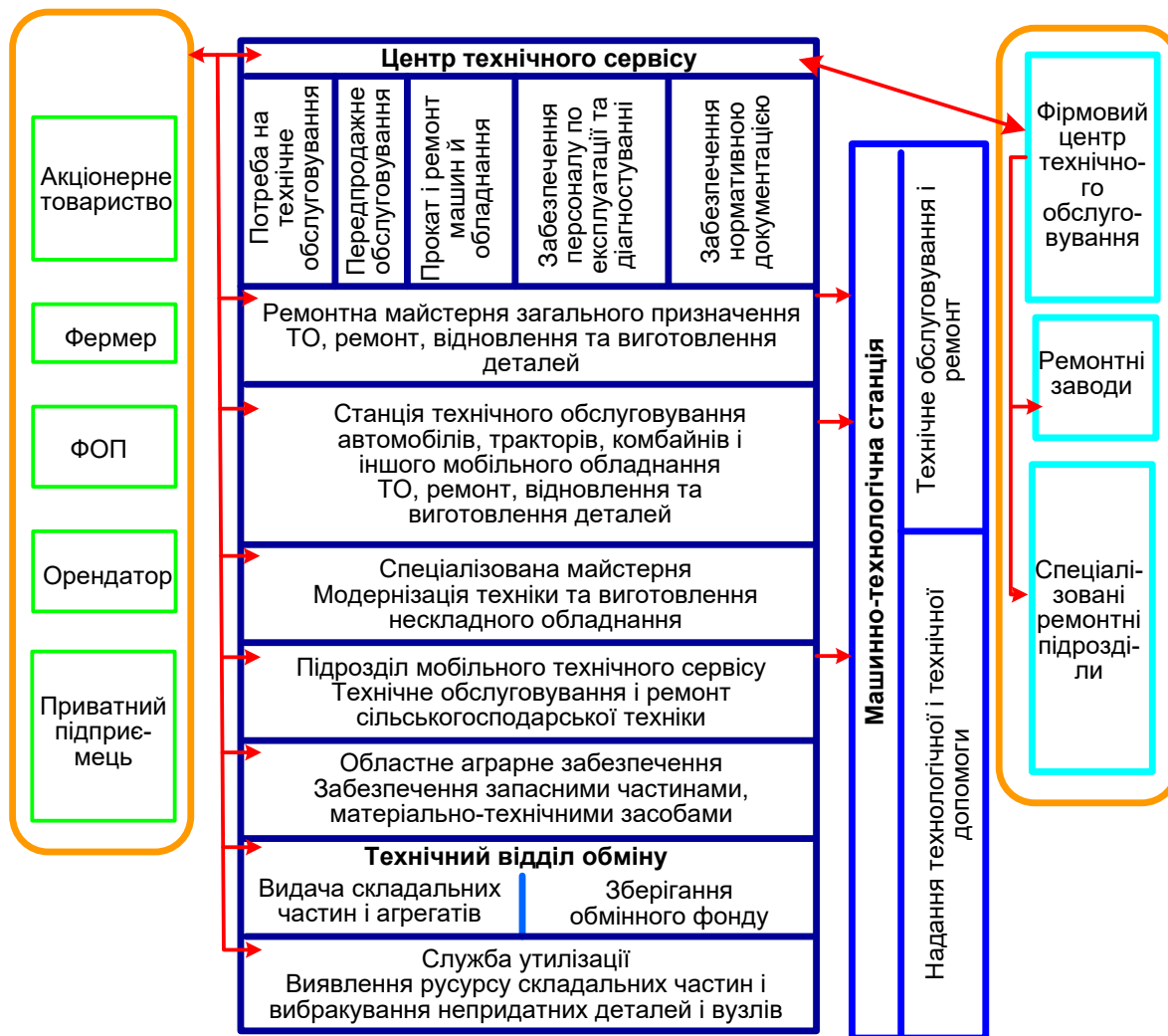


Рис. 1. Організаційна структура технічного сервісу

якій іншій виробничій системі, у системі ТОР можна виділити власне діяльність, що є ремонтно-обслуговуючим впливом та управлінням, та підсистемою інформаційного забезпечення.

Експериментальні дослідження показали, що частка інформаційного забезпечення у всьому ремонтно-обслуговуючому впливі становить близько 15%, а частка інформаційного забезпечення у процесі ухвалення рішення становить не менше 80%.

За рахунок раціонального використання інформаційних потоків можна скоротити час ремонтно-обслуговуючого впливу та процесу прийняття рішення в середньому на 20-25%, та підвищити якість техніки, що експлуатується.

Сукупність взаємодії цих підсистем з урахуванням інформаційного забезпечення дозволяє у результаті підвищити ефективність використання машин і їх надійності. З цією метою було виділено підсистему завдань технічного сервісу, представлена на рисунку 2, вирішення яких істотно впливаєє розроблене інформаційне забезпечення.

Оскільки ТО та ремонт машин – одна з основних складових загальної структури технічного сервісу, то в роботі

основний акцент був зроблений на впровадження інформаційного забезпечення у систему технічного обслуговування та ремонту техніки.

Комплексна система технічного обслуговування та ремонту машин у сільському господарстві максимально орієнтована на стратегію проведення ремонтно-обслуговуючих впливів за станом, з періодичним чи безперервним контролем (діагностуванням) – S_3 , що є найефективнішою. Використання цієї стратегії із застосуванням безрозбірного діагностування сприятиме збільшенню середнього ресурсу до ремонту, усунення незапланованих відмов та вторинних поломок, скорочення обсягу запасних частин, зменшення тривалості ремонтів, підвищення безпеки працюючих та продуктивності виробничих процесів.

Стратегія S_3 – за результатами діагностування вузлів і з'єднань вимагає впровадження сучасних інформаційних технологій на всіх рівнях виробництва, починаючи з бортової електроніки машини та закінчуючи інформаційною системою, що охоплює всі структури АПК.

Проведений аналіз інформаційного середовища підприємств агропромислового комплексу, структури потоків інформації, виявлених вимог до формування та руху інформації дозволив у укрупненому вигляді скласти кла-

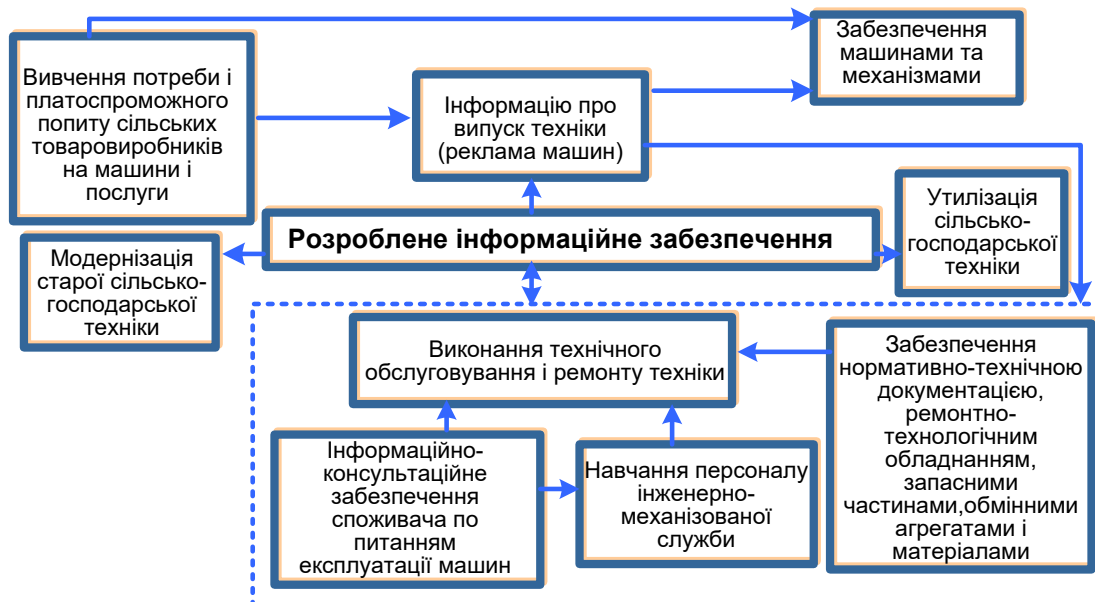


Рис. 2. Взаємозв'язок інформаційного забезпечення та завдань технічного сервісу

сифікацію інформаційних потоків підприємства технічного обслуговування.

Виходячи із сформульованих основних вимог до організації інформаційних потоків на підприємстві, та з урахуванням класифікації потоків інформації, нами було розроблено схему формування та руху інформаційних потоків підприємства сервісного та технічного обслуговування техніки АПК, представлену на рисунку 3.

Методи та моделі досліджень та аналізу внутрішніх інформаційних потоків досить розроблені та висвітлені в літературі, водночас практично нерозробленим є методичне забезпечення з дослідження та відбору зовнішніх документальних інформаційних потоків.

Тому було розроблено кілька методик підвищення якості інформаційного забезпечення, що надає значний вплив на вдосконалення системи технічного сервісу.

На підставі проведених досліджень процесів руху та обробки внутрішньої інформації було визнано доцільним, за її відбору, використовувати метод комбінованого анкетного та вибіркового обстеження. Що ж до методики відбору зовнішньої інформації, то цьому випадку передбачається вести відбір за якісним складом інформації з допомогою експертних оцінок. З цією метою було розроблено методику оцінки та відбору експертів при побудові БД у галузі експлуатації, обслуговування та ремонту сільськогосподарських машин АПК. Формування експертної групи проводилося за критерієм максимальної узгодженості думок її членів, за умови, що експерти, що залучаються, мають високий ступінь компетентності в предметній галузі.

З цією метою спочатку відібраній групі з експертів було запропоновано всі чинники, що впливають на підвищення рівня технічного сервісу, розподілити за їх значимістю в порядку зростання. Для цих цілей було застосовано метод парних порівнянь, при використанні якого експерти незалежно порівнюють один з одним по чергово M_n факторів.

За результатами парних порівнянь будуються таблиці порівнянь, кожен елемент яких дорівнює одиниці, якщо фактор f_j є більш важливим, чим f_i і нулю – інакше. Підсумовування стовпцями елементів у кожній таблиці дає можливість ранжування факторів у порядку зменшення (зростання) сум.

Дані таблиць від N експертів для кожної задачі зводяться в таблиці, число яких визначається числом розв'язуваних завдань. У кожному осередку знаходиться деяке число g_{ij} , що дорівнює кількості переваг i -го фактора j -му, отриманих від усіх експертів.

Якщо підсумувати по стовпцях величини g_{ij} з наступним розподілом на кількість експертів, то отримуємо величину, яка відображає середнє ранжування факторів f_1, f_2, \dots, f_n , що служить показником узагальненої думки експертів щодо важливості аналізованих факторів:

$$G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n g_{ij}, \quad j = \overline{1, f} \quad (1)$$

Оцінка погоджених думок експертів при вирішенні питання щодо підбору і внесення джерела інформації в утворюючу БД проводилась на основі обрахунку коефіцієнтів взаємної парної рангової кореляції \hat{A}_k відношень i -го та j -го експертів до запропонованих факторів.

За середнім значенням коефіцієнтів парної рангової кореляції утвориться матриця коефіцієнтів парної рангової кореляції $\theta = |\rho_{ij}|$, і по ній знаходимо вектор $Y = \{y_i\}$, $i = \overline{1, n}$ такий, що якщо булева змінна $y_i = 1$ то i -й експерт залучається до побудови БД, і якщо, $y_i = 0$, то не залучається.

Математична постановка задачі вибору експертів для формування БД, системи, що розробляється, за технічними ресурсами сільськогосподарської техніки зводиться до знаходження вектора $Y = \{y_i\}$, такого, що:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_i \rho_{ij} y_j \rightarrow \max$$

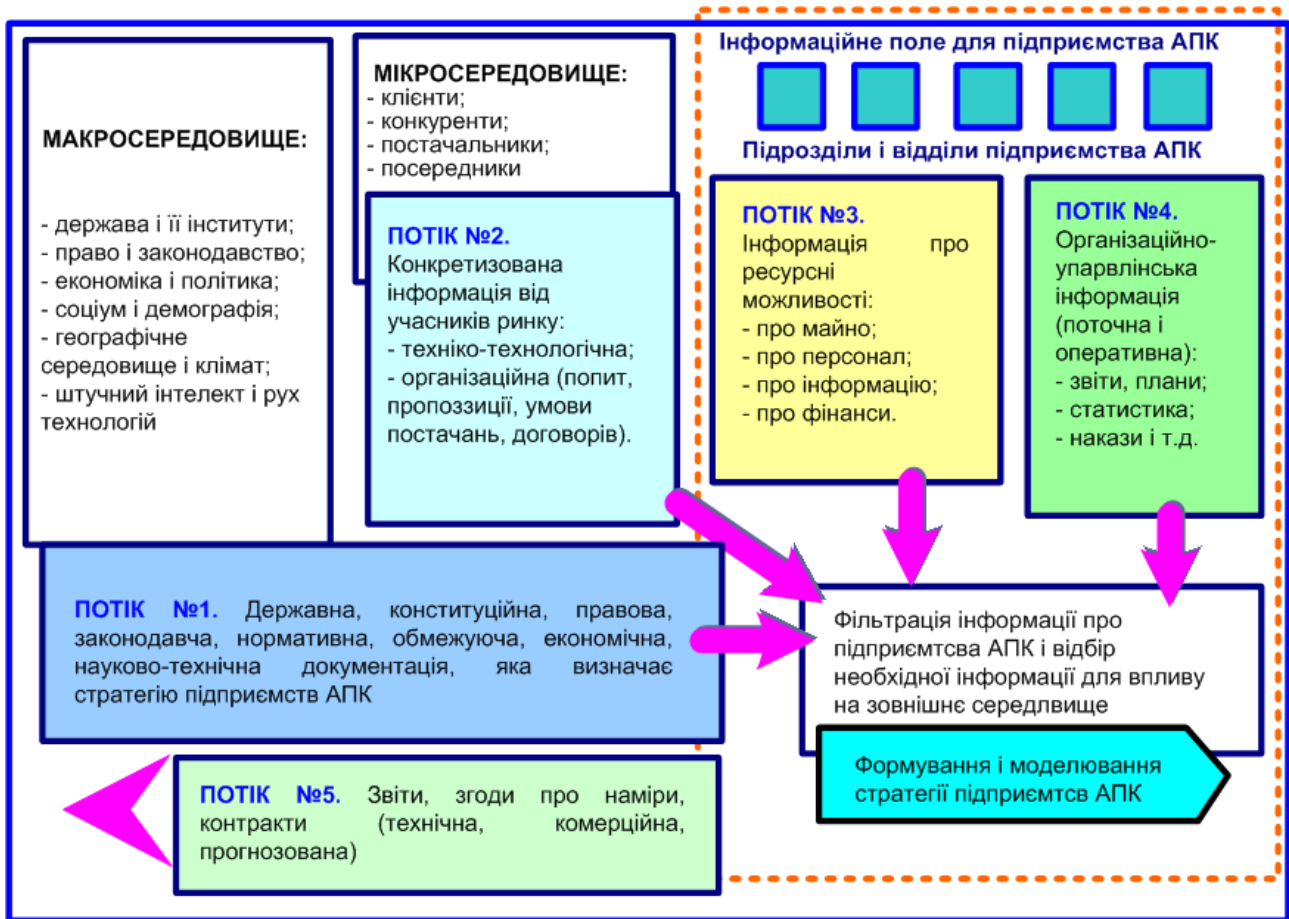


Рис. 3. Схема формування і руху інформаційних потоків підприємств технічного сервісу

при умові, що:

$$y_i \cdot \rho_{ij} \cdot y_j > 0; N \geq \sum_{i=1}^n y_i \geq 2; y_i \in (1,0); -1 \leq \rho \leq 1$$

Була розроблена методика оцінки і відбору інформації при побудові БД. Набір показників якості інформації, за яким проводили відбір джерел інформації (ДІ) був представлений деякою множиною $K = \{K_1, K_2, \dots, K_h\}, (h = \overline{1, h})$, при чому було визначено, що найбільш повно можна оцінити інформацію, використовуючи такі показники якості як точність, достовірність і повнота.

Для найбільш повного представлення відношення «експерт – ДІ» скористаємось дводольним графом Кенінга:

$$G(K) = (E, X, V),$$

де E і X – множина вершин графа $G(K)$;

V – множина ребер, які встановлюють взаємно однозначне співвідношення між вершинами із множини E і множини X .

При подальшому розгляді вважається, що множині E буде відповідати кількість залучених експертів N ; множині X – кількість, представлених на розгляд джерел інформації h , а множина V буде представляти деяку оціночну функцію $F = F(f_{ij})$, яка визначатиме сте-

пів відношення експертів до розглядуваного джерела інформації. Величина f_{ij} характеризує, як експерт оцінює аналізуюче джерело інформації за конкретним показником якості. Було прийнято, що $f_i = 2$, якщо i -й експерт згоден із включенням j -го джерела інформації в утворюючу базу даних і $f_{ij} = 0$, якщо i -й експерт вважає недоречним включення j -го джерела інформації в БД.

Граф Кеніга $G(K)$ був представлений матрицею інцидентності $I(K) = f_{ij}$, кожен елемент якої показує ступінь ставлення i -го експерта до j -го джерела інформації за кожним критерієм.

Використовуючи елементи матриці $I(K)$ можна отримати усереднену оцінку всіма експертами конкретного джерела інформації (V_{cp}^0) за цим критерієм:

$$V_{cp}^0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_{ij}, j = \overline{1, h}$$

Для об'єктивної оцінки інформації запропоновано ввести інтегральний коефіцієнт якості, який враховує всі показники якості, що використовуються експертами. Інтегральний коефіцієнт якості має вигляд, де L – кількість задіяних критеріїв якості (шт.):

$$K_{вдб} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^j V_{cpj}^0$$

де $V_{срj}^0$ – усереднений показник якості оцінки експертами j -го джерела інформації при використанні i -го критерію.

Рекомендується відбирати ДІ, для яких виконується умова:

$$1 \leq K_{відб} \leq 2$$

Таким чином, інтегральний коефіцієнт якості дозволяє експертам оцінювати і включати до бази даних ДІ, що формується; використовуючи при цьому безліч якісних показників, які, на їхню думку, є важливими на даний момент часу.

Оскільки завдання планування, особливо стратегічного, а також завдання навчання фахівців діагностів, придбання засобів ремонту та діагностування, якісних запасних частин, вимагають обробки великих масивів інформації, і вони слабо структуровані та використовують, як правило, інформацію про довкілля, то при їх вирішенні пропонується використовувати бази даних, сформовані з урахуванням знань експертів.

Для пошуку інформації пропонується використовувати розроблену нами модель користувача, яку можна представити як безліч понять з ваговими коефіцієнтами, що визначають значимість понять для користувача в такому вигляді:

$$M = P, G,$$

де P – безліч понять використовуваних фахівцями з технічного сервісу;

G – безліч значень, що визначають важливість понять спеціаліста.

Тут величини P, G визначаються розробником системи залежно від вимог, що пред'являються.

З метою визначення шуканого документа для користувача, у системі пошуку інформації використовуватимемо критеріально-екстремізаційні механізми вибору. При цьому кожному документу поставимо у відповідність аналітичну величину $F_m(D_k)$, яку назовемо критеріальною оцінкою значущості документа та визначається виразом:

$$F_m(D_k) = \sum_{j=1}^1 \alpha_j g_j \sum_{i=1}^1 \alpha_i g_i \mu_m(P_i, P_j)$$

де j, i – кількість понять належать моделі користувача та документу D_k відповідно;

g_j – значення поняття у моделі користувача;

g_i – значення (близькість) поняття до документа;

$\mu_m(P_i, P_j)$ – величина, яка визначає ступінь близькості i -го поняття j -му.

Як правило, модель реальної предметної області є нерівномірно розподілені у просторі документи. У зв'язку з цим необхідно згрупувати документи, що розглядаються, як за тематикою, так і за ступенем їх важливості, тим більше що завдання групування документів є однією з найважливіших при пошуку документів.

Загалом алгоритм виділення до груп у просторі семантичної мережі інформаційно-документальної бази знань можна представити як наступну послідовність дій:

а) у просторі семантичної мережі моделі предметної області виділяються до документів, яким присвоюються відповідні показники;

б) для створення попередніх груп документів близьких до виділення ним, для кожного документа визначається значення оціночної функції $F_m(D_k)$;

в) документи, які мають значення оціночної функції $F_m(D_k)$ максимальне, будуть центрами кожної освіченої групи;

г) показники у кожній групі переміщуються на центральний документ;

д) якщо відбулася зміна показників, то повертаємось до пункту б, інакше розбиття на групи завершено.

Наведений алгоритм дає уявлення про розподіл документів за тематичними групами та за ступенем їхньої значущості в кожній групі.

Наведений алгоритм дає уявлення про розподіл документів за тематичними групами та за ступенем їхньої значущості в кожній групі.

Користувачеві видаватимуться документи цільова функція яких лежить у діапазоні $F_m(D_k)_{\min} \leq F_m(D_k) \leq F_m(D_k)_{\max}$, (наприклад, окремі розділи інструкції з експлуатації конкретної марки трактора).

Розглянута вище методика розподілу документів базувалася у тому, що було відомо кількість груп, якими вони розподіляються. Для початкового визначення кількості груп необхідно визначити відхилення документа, що розглядається, від центрального в групі.

Як характеристику відхилення документа пропонується використовувати середню суму квадратів відхилень від опорного документа, що є центром групи:

$$Q_d = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^1 \left[\frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k-1} (F_m(D_k) - I)^2 \right]$$

де Q_d – середнє відхилення документів у групах;

K – кількість створених груп у моделі предметної області;

N_k – кількість документів в k -й групі;

$F_m(D_k)$ – нормалізована оціночна функція близькості документів.

$$F_m(D_k) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \alpha_j g_j \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \alpha_i g_i \mu_m(P_j, P_i)$$

де m – кількість понять в опорному документі групи;

L – кількість понять у розглянутому документі.

В якості характеристики відхилення групи використовується середня сума квадратів відхилень від опорної групи, яка є центром груп моделі предметної області:

$$Q_r = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^{j-1} (F_m(\Gamma_i) - 1)^2,$$

де Q_r – середнє відхилення груп у моделі предметної області;

J – кількість утворених груп;

$F_m(\Gamma_i)$ – нормалізована оціночна функція близькості груп.

$$F_m(\Gamma_i) = \frac{1}{M_r} \sum_{j=1}^{M_r} \bar{g}_j \alpha_j \frac{1}{L_r} \sum_{i=1}^{L_r} \alpha_i \bar{g}_i \mu_m(P_j, P_i)$$

де M_r – кількість понять у центральній (опорній) групі;
 L_r – кількість понять у групі Γ_k ;
 \bar{g}_j – середня значимість j -го поняття у центральній групі Γ_k ;
 \bar{g}_i – середня значимість i -го поняття у групі Γ_k ;
 Середня значимість поняття для групи \bar{g} знаходимо наступним чином:

$$\bar{g}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu_{D_i}(P_j, P_i)$$

де N – кількість документів у групі включають je поняття.

Тут слід зазначити, що значення середнього відхилення документів у групах при кількості груп дорівнює кількості документів, що дорівнює нулю. Для значень середнього відхилення кожної з показників формуються граничні умови.

Якщо зробити графічну інтерпретацію величин Q_d і Q_r , то точка їх перетину і відповідатиме початковій кількості груп.

Після визначення початкової кількості груп проводиться початкова вибірка документів по кожній групі, і вони надаються на вибір користувачеві. В результаті остаточного вибору користувача визначається приналежність вибраного документа групі і використовується оцінна функція для вибору документів з групи.

Визначення значущості вибраного документа впливає на зміну моделі користувача. Задовільна відповідь збільшує значущість (близькість) понять, що належать вибраному документу. Зміна значущості проводиться за такою формулою:

$$W_i = \frac{1}{2} (W_i + \alpha \mu_D(I, P_i)),$$

де W_i – значимість (близькість) i -го поняття для користувача;

$\mu_D(I, P_i)$ – близькість поняття до вибраного документа;

α – коефіцієнт, який вибирається у залежності від відповіді користувача на вибраний документ.

Таким чином зміна моделі користувача в процесі роботи з системою пошуку інформації, використовуючи критеріально-екстремізаційні механізми вибору та групування документів дозволить вибрати з інформаційно-документальної бази знань безліч найбільш релевантних документів.

З цієї метою були розглянуто питання, пов'язані з проектуванням БД, розроблено структуру БД, розроблено алгоритм роботи підсистем збору, зберігання та обробки текстової інформації, а також алгоритм операції додаванням гіперпосилання, дана характеристика програми.

При використанні регламентованої стратегії види та обсяги робіт на ТО регламентуються жорстко і, отже, інформаційне забезпечення незначно впливає на швидкість виконання цих видів обслуговування. Результати експериментальних досліджень, проведених у агрофірмах Житомирської області.

З результатів видно, що трудомісткість комбайна 1 зменшилася у середньому на 7,8%; комбайн 2 на 8,2% та комбайн 3 на 9%. На нашу думку та думку фахівців, при переході на стратегію S_3 трудомісткість зменшиться в середньому на 15%.

В даний час у агрофірмах Житомирської області, де проводилися експериментальні дослідження, спостереження за технічним станом машин здійснюється переважно за допомогою органолептичних методів діагностування. При використанні інструментальних методів контролю на основі безрозбірного діагностування можна буде ще більше знизити трудомісткість проведення поточного ремонту, оскільки дані методи контролю вимагають більш досконалої організації та обробки інформаційних потоків. Крім того, запропоновані у статті методики можуть бути застосовані при навчанні фахівців діагностів, що також вплине на якість і швидкість проведення ремонтних робіт.

Проведені експерименти дозволили отримати наступні результати щодо поточного ремонту (включаючи не планові ремонти та плановий за результатами діагностування) для трьох різних видів зернозбиральних

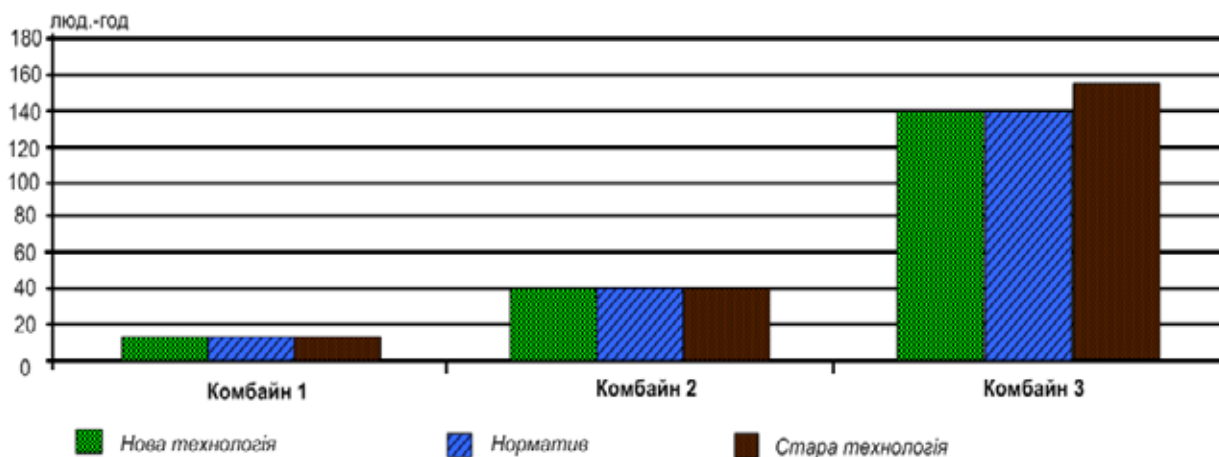


Рис. 4. Порівняння трудомісткостей технічного контролю зернозбиральних комбайнів

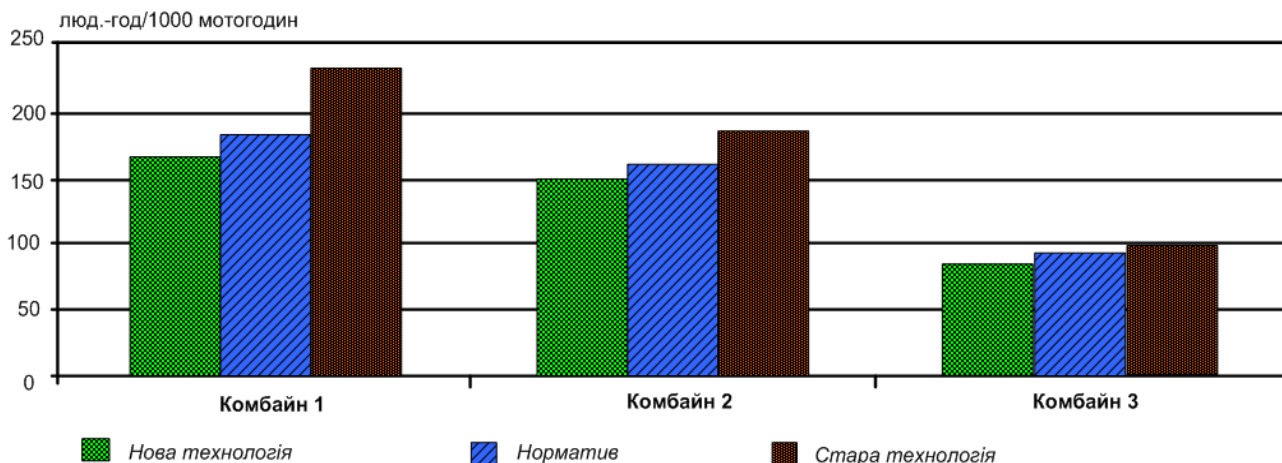


Рис. 5. Порівняння технологій при проведенні технічного контролю зернозбиральних комбайнів

комбайнів, які представлені у вигляді порівняльних діаграм рисунку 5.

Обговорення. За результатами досліджень очевидно, що трудомісткість при технічному контролі знизилася в середньому на 22%. Це пояснюється тим, що в створеній БД зібрана інформація про постачальників якісних запасних частин та мастильних матеріалів (Zubko et al., 2022), використання яких призводить до збільшення безвідмовної роботи машини (Xi & Songlin, 2019), що спільно з підвищенням якості діагностування дозволило скоротити кількість непланових поточних ремонтів і тим самим досягти зниження трудомісткості нижче за нормативну (Nadtochiy & Titova, 2018).

Враховуючи той факт, що на якість та швидкість прийняття рішень велике значення має повнота бази даних, була встановлена залежність повноти БД від запізнення обробки та введення інформації (Rogovskii et al., 2019).

На підставі отриманої залежності та з огляду на думку фахівців, було виведено залежність частоти відмов складової частини від повноти інформації, а отримані експериментальні дані підтвердили припущення (Xi & Songlin, 2019). На даний час частота відмов складової частини знизилася з дев'яти відсотків до чотирьох.

Висновки. Організація та вдосконалення сучасного технічного сервісу неможливі без впровадження новіт-

ніх технологій та розробок, що дозволяють забезпечити збирання, обробку, зберігання, передачу інформації, а також інформаційного забезпечення процесів з метою покращення управління та рішення виробничих завдань.

Для оперативного управління та отримання достовірної та необхідної інформації запропоновано ввести до структури інженерної служби на сільськогосподарському підприємстві інформаційно-аналітичний відділ, а до відділу головного інженера – спеціаліста з інформатизації до функцій якого входили б заходи щодо збирання, зберігання, обробки та надання необхідної фахівцям інформації про стан сільгосптехніки, машин та обладнання.

На основі використання системного підходу щодо організації технічного сервісу та з метою узгодження роботи ланок системи рекомендується використовувати розроблене інформаційне забезпечення всіма ланками системи.

Таким чином, на підставі проведених досліджень можна констатувати, що при переході сільгосп підприємств на стратегію обслуговування за станом машин – С₃ на основі безрозбірного діагностування і при використанні в технологіях техсервісу розроблених нами методик, трудомісткість усіх видів робіт може бути значно знижена, в середньому на 20-25%, а частота відмов складової частини може становити лише 1%.

Бібліографічні посилання:

1. Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1): 1–13.
2. Chen, Y., Mao, E., Li, W., & Chen, J. (2020). Design and experiment of a high-clearance self-propelled sprayer chassis. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(2): 71–80.
3. Corinne, B., & José, R. (2017). Estimating the Hurst parameter. *Statistical Inference for Stochastic Processes*. Springer Verlag, 10(1): 49–73.
4. Erokhin, M., Pastukhov, A., & Kazantsev, S. (2019). Operability assessment of drive shafts of John Deere tractors in operational parameters. *Engineering for Rural Development*, 18: 28–33.
5. Gurcanli, E., Bilir, S., & Sevim, M. (2015). Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. *Safety Science*, 80: 1–12.
6. Gyansah, L., & Ansa, A. (2020). Fatigue crack initiation analysis in 1060 steel. *Research journal of applied sciences engineering and technology*, 4(2): 319–325.
7. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O., & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5(105)): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.

8. Khamidullina, E. A., Timofeeva, S. S., & Smirnov, G. I. (2017). Accidents in coal mining from perspective of risk theory. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 262: 012210.
9. Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L., & Nadochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677: 052002. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.
10. Kypris, O., Nlebedim, I., & Jiles, D. (2016). Measuring stress variation with depth using Barkhausen signal. Journal of Magnetism and Magnetic Materials – Science Direct, 407: 377–395.
11. Nadochiy, O. & Titova, L. (2018). Simulation of agricultural processes. TEKA, 18(2): 39–49.
12. Najafi, P., Asoodar, M., Marzban, A., & Hormozi, M. (2015). Reliability analysis of agricultural machinery: A case study of sugarcane chopper harvester. AgricEngInt: CIGR Journal March, 17(1)1: 158–165.
13. Nazarenko, I., Dedov, O., Beryk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A., & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7(108)): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
14. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M., & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
15. Nykyforchyn, H., Lunarska, E., & Tsyurulnyk, O. (2019). Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline. Engineering Failure Analysis, 17: 624–632.
16. Pisarenko, G., Voinalovych, O., Rogovskii, I., & Motrich, M. (2019). Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. Engineering for Rural Development, 18: 291–298.
17. Rejovitzky, E., & Altus, E. (2013). On single damage variable models for fatigue. International Journal of Damage Mechanics, 22(2) 2: 268–284.
18. Rogovskii, I. 2020. Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research, 11(1): 155–162.
19. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A., & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development, 18: 291–298.
20. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Voinash, S. A., Troyanovskaya, I. P., & Sokolova, V. A. (2021a). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 720: 012110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>.
21. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk Yu. O., & Nadochiy O. V. (2021b). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
22. Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V., & Páez, F. (2011). Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground. Pest Management Science, 67(8): 942–947.
23. Shih-Heng, T., Ming-Hsiang, S., & Wen-Pei, S. (2018). Development of digital image correlation method to analyse crack variations of masonry wall. Sadhana, 6: 767–779.
24. Tyutrin, S. (2019). Improving reliability of parts of mounted mower according to monitoring results by fatigue gauges from tin foil. Engineering for rural development, 18: 22–27.
25. Voinalovych, O., Hnatiuk, O., Rogovskii, I., & Pokutnii, O. (2019). Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. Engineering for rural development, 18: 563–569.
26. Xi, L., & Songlin, Z. (2019). Changes in mechanical properties of vehicle components after strengthening under low-amplitude loads below the fatigue limit. Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, 32(10): 847–855.
27. Yezekyan, T., Marinello, F., Armentano, G., Trestini, S. & Sartori, L. (2020). Modelling of harvesting machines' technical parameters and prices. Agriculture, 10(6): 194–204.
28. Zou, F., Kang, J. & Ji, G. (2017). Hydrostatic driving system for self-propelled sprayer. Engineering Journal, 26(3): 12–18.
29. Zubko, V., Sirenko, V., Kuzina, T., Koszel, M., & Shchur, T. (2022). Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. Agricultural Engineering this link is disabled, 26(1): 25–37.

Titova L. L., Candidate of Technical Sciences, Assistant of Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Engineering management of monitoring the technical readiness of grain harvester on efficiency of its machine use

The article formulates the methodical principles of increasing the efficiency of the technical service of agricultural machinery of agro-industrial complex enterprises on the basis of its information support. The structure of district-level technical service was developed taking into account modern features, development prospects and requirements for material and technical support, maintenance and repair of agricultural machinery. On the basis of the conducted studies of the processes of movement and processing of internal information, it was considered appropriate to use the method of a combined questionnaire and sample survey for its selection. As for the method of selection of external information, in this case it is planned to conduct a selection based on the qualitative composition of information with the help of expert evaluations. The formation of the expert group was carried out according to the criterion of maximum coherence of opinions of its members, provided that the involved experts have a high degree of competence in subject field.

In article, studies of the production activity of technical service enterprises are recommended to use local computer networks, which include an automated workplace of specialists, which allows for operational management of all links of the technical process of maintenance and repair of machines. Based on the developed methods, a software product was created for a quick search for the necessary and sufficient information for a specialist or a manager of a technical service enterprise. As a result of the implementation of the above-mentioned measures developed and implemented at technical service enterprises, the following practical results were obtained: the labor intensity during the first one decreased on average by 7.8%, during the second one by 8.2%, during seasonal repairs by 9%, and during current repairs by 22%. The obtained regularity of the dependence of the time spent on maintenance and repair on the completeness of information shows that the more complete the database is, the less time is spent on making decisions and carrying out work. Thus, on the basis of the research carried out in the article, it can be stated that when agricultural enterprises switch to a strategy of maintenance based on the condition of machines – on the basis of indiscriminate diagnostics and when using the developed methodology in technical service technologies, the labor intensity of all types of work can be significantly reduced, on average by 20–25%, and the failure rate of a component can be only 1%.

Key words: depreciation, diagnostics, technical service, agricultural machine.

НЕЗАЛЕЖНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ КОНТРОЛЬОВАНИХ РЕЖИМІВ ДІАГНОСТУВАННЯМ ВІДЕОЕНДОСКОПІЄЮ

Швидун Олександр Васильович

аспірант

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

ORCID: 0000-0002-0270-1762

shvidun22@gmail.com

Роговський Іван Леонідович

доктор технічних наук, професор

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

ORCID: 0000-0002-6957-1616

rogovskii@nubip.edu.ua

Автором в статті представлено результати обґрунтування основного методологічного підходу до визначення незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією. Автором в статті розглядається можливість використання методів теорії розпізнавання образів для визначення різноманітних дефектів незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією. Як ознаковий простір використано відбиті від поверхні електромагнітні коливання оптичного діапазону, тривимірні графіки яких зображені в осі аплікату відкладається інтенсивність відбитого сигналу від поверхні досліджуваного елемента виробу, різним рівням інтенсивності відповідає свій колір. Як ознаковий простір для розпізнавання дефекту використано значення інтенсивностей відбитих сигналів, які формуються при оптико-електронній діагностиці, наприклад, при використанні цифрових відеокамер з оптичним збільшенням (достатньо до 100 крат), оснащених підсвічуванням. Відбите від контрольованої поверхні світло фіксується матрицею цифрової камери. Візуальний аналіз представлених графічних інтерпретацій отриманих результатів на пряму не дозволив знайти будь-які детерміновані чи структурні ознаки, що розрізняють ці сигнали. Більше того, суто візуально вони виглядають як реалізація якихось випадкових процесів. Оскільки найбільш повною характеристикою випадкового процесу є його функція розподілу, були побудовані гістограми, що являють собою одномірні закони розподілу ймовірностей амплітуд, відображених від контрольованих поверхонь сигналів, які на відміну від самих сигналів реалізацій вже мають деякі структурні відмінності. Авторами запропоновано словник ознак, який дозволяє однозначно розрізняти поверхні з шорсткістю та окисненням від чистих та заоливлених поверхонь. Авторами обґрунтовано, що заоливлені і чисті поверхні утворюють області, що перетинаються, зокрема, чиста і заоливлена поверхні, мають дзеркальний характер відображення, а окисна і шорстка – дифузний. Ця обставина дозволила обґрунтувати вимогу їхнього поділу пошуку додаткових ознак розпізнавання, чи вироблення вирішального правила, що дозволило за заданим критерієм провести поділ цих класів.

Ключові слова: відеоендоскопія, діагностування, параметр, комбайн, контроль.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.20>

Постановка проблеми. З початку XXI століття відбулися значні зміни у питаннях забезпечення якості у різних галузях машинобудування (Novotny, 2016). Неможливо забезпечити високу якість продукції без забезпечення безперервного контролю за станом робочих поверхонь протягом життєвого циклу елементів виробів різного призначення, особливо при їх виробництві та експлуатації (Rogovskii & Titova, 2021b). На сьогоднішній день при визначенні якісних параметрів робочих поверхонь виробів широке застосування знаходять оптико-електронні засоби та методи контролю, що не руйнує, робота яких багато в чому нерозривно пов'язана з сучасними прогресуючими технологіями штучного інтелекту (Rogovskii et al., 2019).

В даний час можна з впевненістю сказати, що роль штучного інтелекту у вдосконаленні та модернізації існуючих на сьогоднішній день методів, процедур і способів діагностування складних технічних систем (Palamarchuk

et al., 2021), має такий потенціал, якого немає в жодній іншій технології (Rogovskii et al., 2022). При з розряду інтелектуальних завдань виключаються завдання, котрим існують стандартні методи розв'язання (наприклад, все обчислювальні завдання) (Masek et al., 2017).

Одним із напрямів штучного інтелекту є завдання розпізнавання образів (Hrynkiv et al., 2020). У цій статті розглядається можливість використання методів теорії розпізнавання образів для визначення різноманітних дефектів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо (Nazarenko et al., 2021), що з найважливіших (якщо не визначальних) етапів розпізнавання образів є визначення робочого словника ознак. Очевидно V, що якщо вдається розбити алфавіт класів, що розпізнаються на непересічні в просторі словника ознак області (Luo & Guo, 2013), то завдання розпізнавання вважається повністю вирішеною і не вимагає вироблення надалі так зва-

ного «вирішального правила» для областей, що перетинаються. Вибір робочого словника ознак є непротим завданням (Dubbini et al., 2017), оскільки потрібно знайти певний компроміс між простотою, ефективністю і спільністю (універсальністю) його застосування (Rogovskii & Titova, 2021a). Таким чином, описане вище дозволяє зробити висновок, що важливою частиною побудови системи розпізнавання є пошук даного алфавіту класів словника ознак, що забезпечує в умовах обмежених ресурсів розпізнавання максимальну ефективність (ймовірність) розпізнавання (Forgó et al., 2021).

Враховуючи вищесказане, розглянемо завдання розпізнавання та класифікації дефектів поверхонь (Zagurskiy et al., 2018), наприклад, елементів зернозбиральних комбайнів при їх виробництві та експлуатації (Rogovskii & Titova, 2021c), для яких якість робочих поверхонь (чистота, шорсткість) найчастіше буває визначальною (Rogovskii et al., 2021b). Дефекти, які необхідно розпізнати, являють собою різні забруднення (олива, сліди окису), а також різну шорсткість поверхні (Kuzmich et al., 2021). Крім того (Romaniuk et al., 2018), важливе значення має ступінь зазначених забруднень, яка значно впливає на експлуатаційні властивості досліджуваного елемента конструкції (Rogovskii, 2020).

Метою досліджень є підвищення валідності визначення незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією.

Результати досліджень В якості класів (забруднень), що розпізнаються, досліджувалися 4 типи поверхонь елементів виробів: чиста, окислена (витримкою під впливом 90% розчину HCl від 1 до 3 годин), заолівлена (нанесенням на зразок площею 0,0024 м² 20, 40 і 60 мг) і має шорсткість (підвищені параметри: висота нерівностей профілю по десяти основних точках R_z і середнє арифметичне відхилення профілю R_a).

У свою чергу, заолівлена, окислені та шорсткі поверхні також розділялися за ступенем їх забруднення (таблиця 1).

Таблиця 1 є ні що інше, як апіорна абетка класів, де кожному класу відповідає певне пошкодження або несправність.

Як ознаковий простір використовувалися відбиті від поверхні електромагнітні коливання оптичного діапа-

зону, тривимірні графіки яких зображені на рис. 1, де осі Z відкладається інтенсивність відбитого сигналу від поверхні досліджуваного елемента виробу. Різним рівням інтенсивності відповідає свій колір.

Таким чином, як ознаковий простір для розпізнавання дефекту використовуються значення інтенсивностей відбитих сигналів, які формуються при оптико-електронній діагностиці, наприклад, при використанні цифрових відеокамер з оптичним збільшенням (достатньо до 100 крат), оснащених підсвічуванням. Відбите від контрольованої поверхні світло фіксується матрицею цифрової камери.

Оброблені результати інтенсивностей отриманих цифрових зображень контрольованих поверхонь показано на рис. 1.

Візуальний аналіз представлених графіків (рис. 1) не дозволяє знайти будь-які детерміновані чи структурні ознаки, що розрізняють ці сигнали. Більше того, суто візуально вони виглядають як реалізація якихось випадкових процесів.

Оскільки найбільш повною характеристикою випадкового процесу є його функція розподілу, були побудовані гістограми, що являють собою одномірні закони розподілу ймовірностей амплітуд, відображених від контрольованих поверхонь сигналів, які (на відміну від самих сигналів реалізацій) вже мають деякі структурні відмінності (рис. 2). Для того, щоб формалізувати процедуру розрізнення (розпізнавання) пропонується використовувати як ознаковий простір ознаки, засновані на статистиках першого порядку (1)-(5).

Математичне очікування (момент 1-го порядку):

$$m_1 = \sum_{j=0}^{N-1} \{I_j \cdot P(I)\}, \quad (1)$$

де I_j – інтенсивність відбитого сигналу; $P(I)$ – ймовірність появи відбитого сигналу, N – кількість точок (пікселів) цифрового зображення поверхні.

Центральний момент:

$$\mu_k = \sum_{j=0}^{N-1} \{(I_j - m_1)^k \cdot P(I_j)\}, \quad (2)$$

де k – номер порядку моменту.

Таблиця 1

Вихідні дані за абеткою класів ушкодження, забруднення поверхні

| № класу | Тип дефекту | Ступінь ушкодження (забруднення) |
|---------|-------------|--|
| 1 | Чиста | відповідає ДСТУ |
| 2 | Олива | 20 мг на площі 0,0024 м ² |
| 3 | Олива | 40 мг на площі 0,0024 м ² |
| 4 | Олива | 60 мг на площі 0,0024 м ² |
| 5 | Окис | витримка 90% HCl 1 год |
| 6 | Окис | витримка 90% HCl 2 години |
| 7 | Окис | витримка 90% HCl 3 години |
| 8 | Шорсткість | R _z = 6,3-10, R _a = 1,25-2,5 |
| 9 | Шорсткість | R _z = 3,2-6,3, R _a = 0,63-1,26 |
| 10 | Шорсткість | R _z = 2,6-3,2, R _a = 0,32-0,63 |

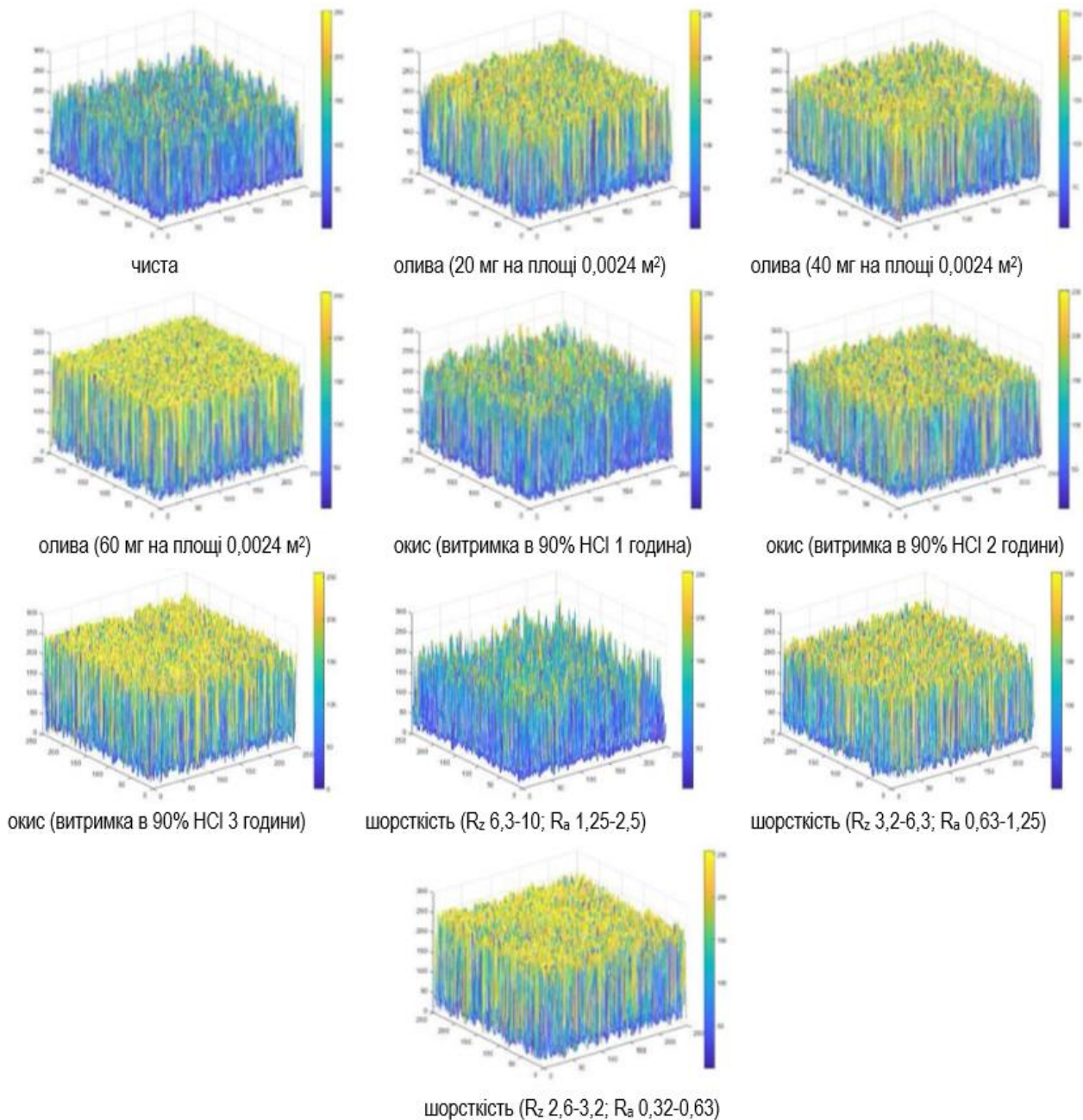


Рис. 1. Тривимірні діаграми результатів вимірювань інтенсивностей відбитого світла від контрольованих поверхонь, афіксовані матрицею оптичної системи для різних класів ушкоджень

Дисперсія:

$$\mu_2 = \sum_{j=0}^{N-1} \left\{ (I_j - m_1)^2 \cdot P(I) \right\}, \quad (3)$$

Коефіцієнт асиметрії:

$$\gamma_1 = \mu_3 \cdot (\mu_2)^{-3/2}. \quad (4)$$

Коефіцієнт ексцесу:

$$\gamma_2 = \mu_4 \cdot (\mu_2)^{-3/2}. \quad (5)$$

Результати розрахунків представлені в таблицях 2-5 та на рисунках 3-6, звідки можна зробити такі висновки.

Обговорення. Даний робочий словник ознак дозволяє однозначно розрізняти поверхні з шорсткістю та окисненням від чистих та заоливлених поверхонь (Pinzi et al., 2016). Це, очевидно, пояснюється різною природою відображення різних поверхонь. Однак, заоливлені і чисті поверхні утворюють області, що перетинаються (Liu et al., 2021). Так, чиста і заоливлена поверхні, мають, швидше за все, дзеркальний характер відображення, а окисна і шорстка – дифузним (Nazarenko et al., 2020). Ця обставина вимагає їхнього поділу пошуку додаткових ознак розпізнавання, чи вироблення вирішального правила, що дозволяє за заданим критерієм провести поділ цих класів. Тим не менш, при застосуванні техно-

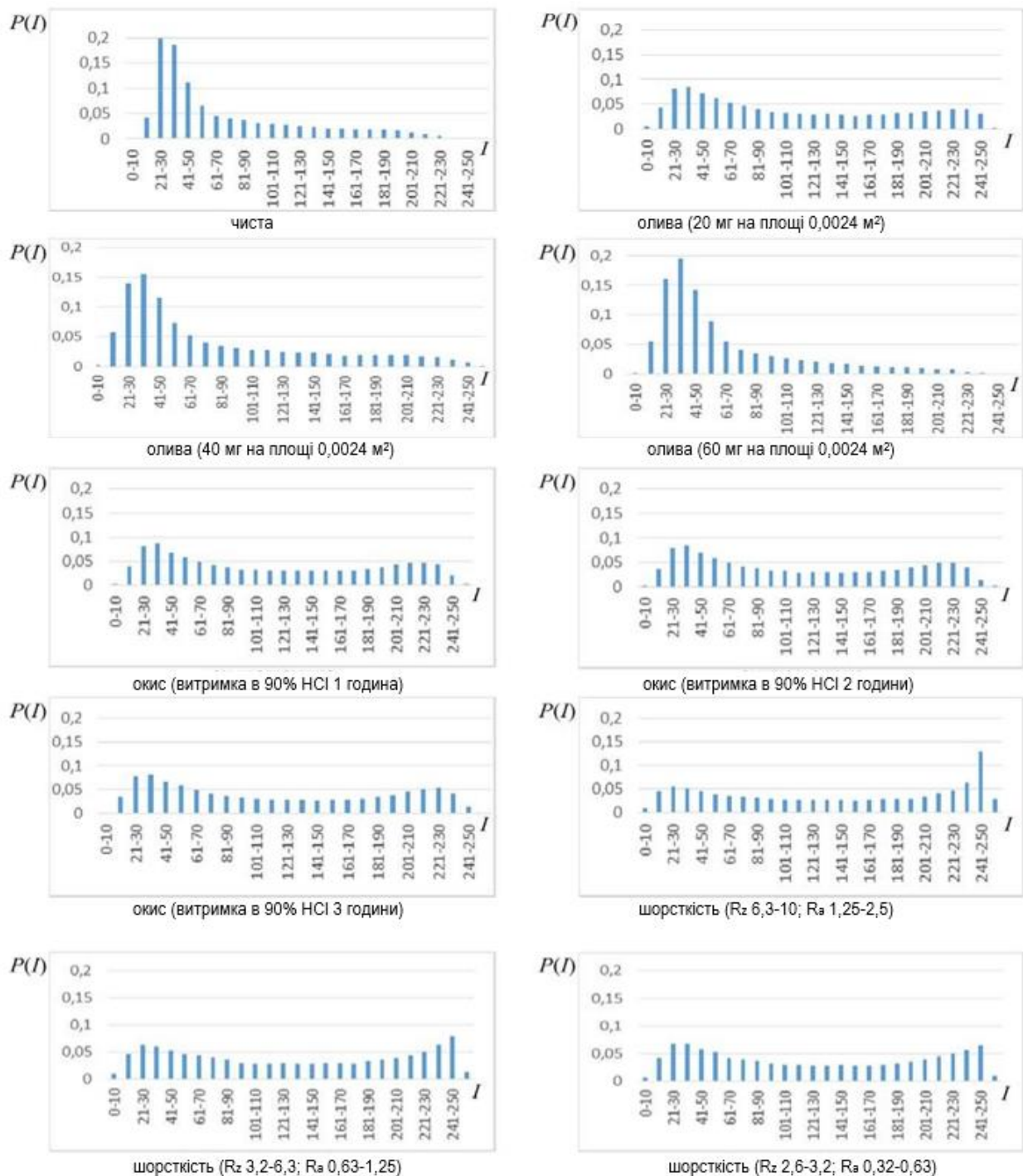


Рис. 2. Гістограми відбитих сигналів для різних класів ушкоджень: $P(I)$ – ймовірність появи відбитого сигналу, I – інтенсивність відбитих сигналів

Таблиця 2

Отримані значення математичного очікування m_1 (моменту 1-го порядку)

| | | | |
|---------------------------------------|---|--|--|
| Значення m_1 для чистої поверхні | 70,9078 | | |
| Значення m_1 при забрудненні оливою | 111,8078 (20 мг на площі 0,0024 м ²) | 80,5371 (40 мг на площі 0,0024 м ²) | 64,8658 (60 мг на площі 0,0024 м ²) |
| Значення m_1 при окису | 117,6750 (витримка 90% НСІ 1 година) | 115,7151 (витримка 90% НСІ 2 години) | 115,5736 (витримка 90% НСІ 3 години) |
| Значення m_1 при рівнях шорсткості | 141,4629 (R_z 6,3-10, R_a 1,25-2,5) | 131,1654 (R_z 3,2-6,3, R_a 0,63-1,26) | 127,2359 (R_z 2,6-3,2, R_a 0,32-0,63) |

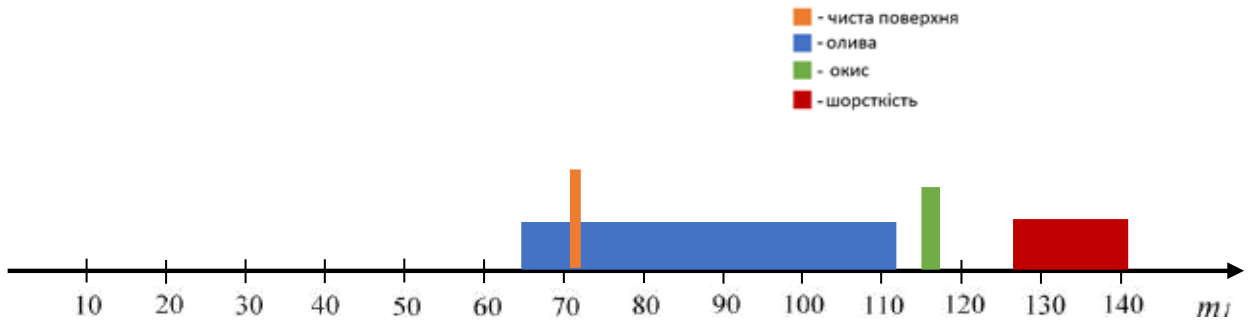


Рис. 3. Графік розподілу моментів 1-го порядку

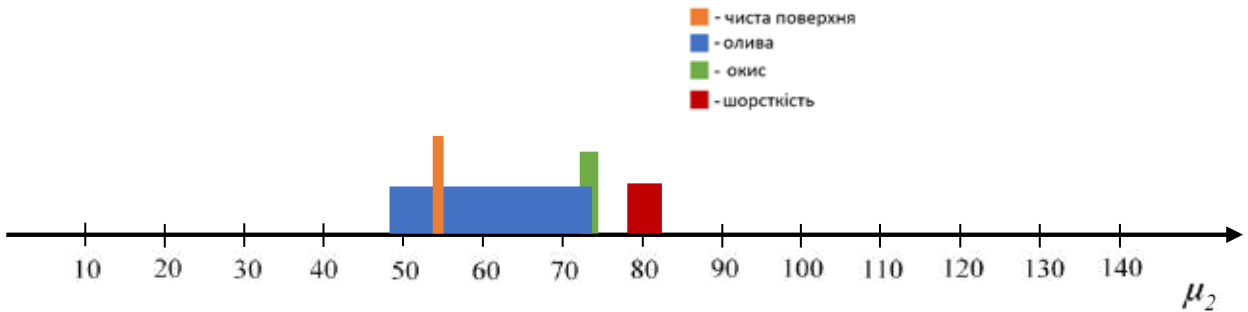


Рис. 4. Графік розподілу моментів 2-го порядку

Таблиця 3

Отримані значення дисперсії μ_2 (моменту 2-го порядку)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Значення μ_2 для чистої поверхні | 53,8171 | | |
| Значення μ_2 при забрудненні оливою | 73,3596 (20 мг на площі 0,0024 м ²) | 61,4928 (40 мг на площі 0,0024 м ²) | 48,1894 (60 мг на площі 0,0024 м ²) |
| Значення μ_2 при окису | 73,5094 (витримка 90% HCl 1 година) | 72,5308 (витримка 90% HCl 2 години) | 72,1744 (витримка 90% HCl 3 години) |
| Значення μ_2 при рівнях шорсткості | 82,0995 (R _z 6,3-10, R _a 1,25-2,5) | 79,4512 (R _z 3,2-6,3, R _a 0,63-1,26) | 78,1174 (R _z 2,6-3,2, R _a 0,32-0,63) |

Таблиця 4

Отримані значення дисперсії γ_1 (моменту 3-го порядку)

| | | | |
|--|---|--|--|
| Значення γ_1 для чистої поверхні | 1,2176 | | |
| Значення γ_1 при забрудненні оливою | 0,3805 (20 мг на площі 0,0024 м ²) | 1,0502 (40 мг на площі 0,0024 м ²) | 1,5090 (60 мг на площі 0,0024 м ²) |
| Значення γ_1 при окису | 0,2720 (витримка 90% HCl 1 година) | 0,2582 (витримка 90% HCl 2 години) | 0,2274 (витримка 90% HCl 3 години) |
| Значення γ_1 при рівнях шорсткості | -0,1031 (R _z 6,3-10, R _a 1,25-2,5) | 0,0423 (R _z 3,2-6,3, R _a 0,63-1,26) | 0,1158 (R _z 2,6-3,2, R _a 0,32-0,63) |

Таблиця 5

Отримані значення коефіцієнта ексцесу γ_2 (моменту 4-го порядку)

| | | | |
|--|---|--|---|
| Значення γ_2 для чистої поверхні | 0,4174 | | |
| Значення γ_2 при забрудненні оливою | -1,2606 (20 мг на площі 0,0024 м ²) | -0,0673 (40 мг на площі 0,0024 м ²) | 1,62 (60 мг на площі 0,0024 м ²) |
| Значення γ_2 при окису | -1,3696 (витримка 90% HCl 1 година) | -1,3797 (витримка 90% HCl 2 години) | -1,4058 (витримка 90% HCl 3 години) |
| Значення γ_2 при рівнях шорсткості | -1,4844 (R _z 6,3-10, R _a 1,25-2,5) | -1,469 (R _z 3,2-6,3, R _a 0,63-1,26) | -1,4504 (R _z 2,6-3,2, R _a 0,32-0,63) |



Рис. 5. Графік розподілу моментів 3-го порядку

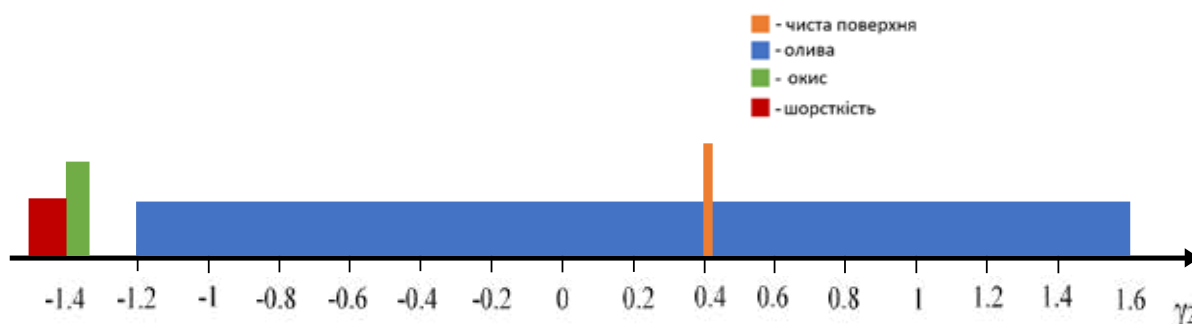


Рис. 6. Графік розподілу моментів 4-го порядку

логії розпізнавання образів, заснованої на теорії статистичних рішень, ці ознаки дозволять розрізнити зазначені дефекти з високою ймовірністю (Rogovskii, 2019).

Висновки. В результаті проведеного пошуку та дослідження діагностичних ознак можна стверджувати, що навіть такий скромний словник ознак, який був розглянутий у статті, має певні класифікуючі властивості для розпізнавання типу забруднення поверхні в незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів

контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією. Подальше вдосконалення ознакового простору незалежності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів контрольованих режимів діагностуванням відеоендоскопією без пред'явлення додаткових вимог до апаратної частини апаратури діагностики несправностей доцільно проводити з використанням ознак, що ґрунтуються на статистиках вищого порядку, наприклад, матриць поєднання просторової залежності.

Бібліографічні посилання:

1. Dubbini, M., Pezzuolo, A., De Giglio, M., Gattelli, M., Curzio, L., Covi, D., Yezekyan, T. & Marinello, F. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*, 19: 158–163.
2. Forgó, Z., Tolvaly-Ros, sa F., Pásztor, J. & Kovari, A. (2021). Energy consumption evaluation of active tillage machines using dynamic modelling. *Application Science*, 11: 6240. <https://doi.org/10.3390/app11146240>.
3. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
4. Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Nadochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 052002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.
5. Liu, Z., Cao, S. & Sun, Z. (2021). Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 11: 4611. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84191-z>.
6. Luo, A. C. J. & Guo, Y. (2013). *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag: 213.
7. Masek, J., Novak, P. & Jasinskas, A. (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. *Engineering for Rural Development*, 16: 1180–1185. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118135>.
8. Nazarenko, I., Dedov, O., Beryuk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
9. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.

10. Novotny, J. (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. *Engineering for Rural Development*, 15: 16–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.239292>.
11. Palamarchuk, I., Rogovskii, I., Titova, L. & Omelyanov, O. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. *Engineering for Rural Development*, 20: 1761–1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>.
12. Pinzi, S., Cubero-Atienza, A. J. & Dorado, M. P. (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. *Journal of Sound and Vibration*, 266(3): 407–441.
13. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021a). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>.
14. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021b). Modeling of normativity of criteria of technical level of forage harvesters combines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012109. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012109>.
15. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021c). Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 022100. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022100>.
16. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
17. Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Berezova, L. V. (2021d). Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723: 032032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032>.
18. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadochiy, O. V. (2021e). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
19. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskiy, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
20. Rogovskii, I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine, 11(3): 143–150.
21. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
22. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
23. Zagurskiy, O., Ohienko, M., Rogach, S., Pokusa, T., Titova, L. & Rogovskii, I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. *Conceptual bases and trends for development of social-economic processes*. Monograph. Opole, Poland: 64–74.

Shvydun O. V., Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Rogovskii I. L., Doctor of Technical Science, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Independence of parameters of technical condition of grain harvester controlled modes by diagnostics by videoendoscopy

In the article, the author presents the results of the substantiation of the main methodological approach to determining the independence of parameters of the technical condition of grain harvesters of controlled modes by video endoscopy diagnosis. In the article, the author considers the possibility of using the methods of pattern recognition theory to determine various defects of the independence of parameters of the technical condition of grain harvesters of controlled modes by diagnosing them with video endoscopy. Electromagnetic oscillations of the optical range reflected from the surface are used as a characteristic space, the three-dimensional graphs of which are depicted in the axis of the appliqué. The value of reflected signal intensities, which are formed during optical-electronic diagnostics, for example, when using digital video cameras with optical magnification (enough up to 100 times), equipped with backlight, is used as a feature space for defect recognition. The light reflected from the controlled surface is captured by the matrix of a digital camera. Visual analysis of the presented graphic interpretations of the obtained results on a straight line did not allow to find any deterministic or structural features distinguishing these signals. Moreover, purely visually, they look like the implementation of some random processes. Since the most complete characteristic of a random process is its distribution function, histograms were constructed, which are one-dimensional distribution laws of probability of amplitudes reflected from the controlled surfaces of signals, which, unlike the signals of the implementations themselves, already have some structural differences. The authors proposed a dictionary of signs that allows you to clearly distinguish surfaces with roughness and oxidation from clean and oiled surfaces. The authors substantiated that oiled and clean surfaces form intersecting areas, in particular, clean and oiled surfaces have a specular reflection, while oxidized and rough surfaces have a diffuse reflection. This circumstance made it possible to justify the demand for their division, the search for additional signs of recognition, or the development of a decisive rule, which made it possible to divide these classes according to a given criterion.

Key words: videoendoscopy, diagnosis, parameter, combine, control.

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ПРУЖИННОГО ЗАПОБІЖНОГО ПРИСТРОЮ СОШНИКІВ ДЛЯ ПРЯМОЇ СІВБИ

Яблонський Петро Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-1971-5140

ypn@ukr.net

Сівба – найвідповідальніша операція механізованої технології вирощування сільськогосподарських культур, адже відповідно до агротехнічних вимог насіння має розмістись у ґрунті певної структури, вологості і твердості, на заданій глибині висіву і з рівномірним інтервалом вздовж рядка. Дотримання сталої глибини передпосівного обробітку сприяє ущільненню насіннєвого ложа, забезпечує якісніше загортання насінин та згодом поліпшує доступ світла до паростків. Це має позитивний вплив на рівень польової схожості насіння та одночасність (дружність) сходів, що загалом підвищує стартовий розвиток рослин і, як наслідок, урожайність культури. Отже, технічна досконалість робочих органів машин для передпосівної підготовки ґрунту та висіву насіння відіграє важливу роль.

У статті приведена класифікація сучасних сошників для прямої сівби вітчизняного і закордонного виробництва за ознакою подібності форми утворюваної борозни. Описані особливості конструкції дискових сошників сівалки Salford 520 та John Deere 730, анкерних – Amazone Primera DMC і AD3 Special, викладені результати розробки теоретичної моделі механізму хитної пружини на прикладі запобіжного пристрою анкерних сошників сівалок Horsch Sprinter ST, Elvorti C3C-2,1.

У результаті аналізу виявлено що сошники, які утворюють V-подібну форму борозни, найменше руйнують цілісність складу ґрунту, добре копіюють його поверхню, точніше дотримуються глибини обробітку на підвищених швидкостях, але здатні захоплювати і втягувати рослинні рештки до насіннєвого ложа, внаслідок чого знижується польова схожість насіння, та потребують збільшення витрат на технічне обслуговування. Сошниками, які вирізають U-подібну форму борозни, створюється щільне насіннєве ложе, що сприяє швидшому проростанню насіння, однак вони недостатньо контролюють глибину висіву. Лапові сошники забезпечують більш рівномірне ніж долотоподібні розподілення площ живлення насінин, що призводить до збільшення врожайності культур, проте вони здатні виносити брили та великі грудки на поверхню, особливо при роботі на ґрунтах підвищеної твердості.

Ключові слова: насіння, пряма сівба, насіннєве ложе, сівалка, дисковий, анкерний, лаповий сошник, запобіжний пристрій, хитна пружина, рівняння Лагранжа другого роду.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.21>

Постановка проблеми. Для підвищення ефективності виробництва сільськогосподарських культур вітчизняні аграрії все частіше стали застосовувати технологію прямої, тобто закритої системи сівби, за якої шляхом повторення дій природи зберігається цілісність структури ґрунту, відновлюється його родючість, накопичується продуктивна волога, зменшуються ризики землеробства.

Поряд з цим, для багатьох країн на різних континентах актуальною є боротьба з ерозією ґрунту. В Україні, наприклад, ще за радянської доби поля закривались лісосмугами для запобігання здуванням ґрунту вітром. У Південній Америці в минулому столітті зародилась технологія нульового обробітку No-till, яка прийшла на зміну відвальній оранці та мінімальному обробітку ґрунту і рятує ґрунт від ерозійних процесів, завдячуючи залишеній на полі стерні і мульчі з подрібнених рослинних залишків (Aikins et al., 2019; Lankoski et al., 2006; Neupane & Guo, 2019). Вагомою перевагою на користь No-till є очевидна економічна вигода, адже при відвальній оранці перш ніж приступити безпосередньо до сівби треба провести культивування, передпосівний обробіток ґрунту, а за системою No-till можна сіяти по стерні одразу, виключивши всі підготовчі технологічні операції.

За прямої сівби сошник є найважливішим та найбільш завантаженим елементом сівалки, адже необхідно розрізати рослинні залишки за умови мінімального зсуву мульчувального шару та укласти і заробити насіння на заданій глибині у ґрунті. Наразі для прямої сівби вітчизняними аграріями використовуються дискові, анкерні та лапові сошники відомих і рекламаних виробників сівалок.

Мета статті полягає в аналізі переваг і недоліків конструкцій сошників для прямої сівби задля вибору прототипів для розробки та удосконалення сівалки відповідно до умов роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує чимало різних видів дискових сошників, як і різноманітних показників якості виконання ними технологічного процесу. Зокрема, до їх головних переваг слід віднести мінімальні пошкодження цілісності ґрунту, для чого деякі конструктори в зоні виходу сошника з ґрунту розташовують колесо-регулятор глибини, що перешкоджає спучуванню ґрунту під дією диска (Karada et al., 2018). Доведено що чим менший кут нахилу розпушувального диска по відношенню до напрямку руху, тим менші пошкодження поверхневого шару ґрунту (Malaslia et al., 2019).

Стерневими сівалками з дисковими сошниками є Salford 520 (Канада), John Deere 730 (США), СРН-2000F (США), SD7200 (Казахстан), та ін.

Дводисковий сошник сівалки Salford 520 (рис. 1) добре копіює нерівності поверхні поля за допомогою паралелограмного механізму приєднання до рами 2 та дотримується встановленої глибини заробки насіння на підвищених швидкостях. Зміщені відносно один одного висівні диски 1 легко проникають у ґрунт, а розташований між ними пластиковий ущільнювач розриває насіння в борозні і покращує його контакт з ґрунтом. Пружний паралелограмний важільний механізм 2 створює тиск на сошник, який концентрується на прикочувальному гумовому котку 3, завдяки чому заглиблення дисків і відповідно глибина висіву насіння регулюється шляхом зміни положення котка. Шарнірне з'єднання сошника і котка забезпечує точне прикочування навіть на полях зі складним контуром та за умови частих поворотів (Li et al., 2021). Спереду кожного сошника встановлений дисковий ніж (хвилястий диск) 4. Він прорізає в стерні щілину, руйнує ущільнення поверхневого шару ґрунту, подрібнює рослинні залишки, запобігаючи їх попаданню на дно борозни, тобто на насінне ложе. Заглиблення дискового ножа має бути на 2,5 см більшим глибини висіву, внаслідок чого коренева система рослин розвивається вертикально, їй доступна волога та поживні речовини нижчих шарів ґрунту.

Американська сівалка John Deere 730 також забезпечена дводисковим сошником (рис. 1), причому висівні диски 1 для кращого проникнення в ґрунт також зміщені один щодо одного на 6,35 мм. За висівними апаратами рухаються колеса 2, які прикочують поверхню, забезпечуючи посилення контакту насіння з ґрунтом, та дозволяють контролювати глибину його заробки в борозні. Завдяки чергуванню ріжучих кромок правого та лівого дисків 1 врівноважуються бічні зусилля.

Недоліком дискових сошників в залежності від способу їх застосування та попередньої культури, яка вирощувалась у даній сівозміні, може бути проникнення стерні чи інших рослинних залишків у насінне ложе, що погіршує контакт насіння з ґрунтом і, як наслідок, призводить до зниження польової схожості. Крім цього, такі сошники підвищують вартість сівалки і витрати на технічне обслуговування.

Анкерні сошники (особливо долотоподібні) здатні переміщати поживні рештки і ґрунт із зони рядка в міжряддя. При цьому долотоподібний сошник краще ущільнює насінне ложе, що сприяє одночасному і швидкому проростанню насіння (Vолокна, 2019).

До сівалок з анкерними сошниками відносяться Amazone Primera DMC, Amazone AD3 Special (Німеччина), Elvorti СЗС-2,1 (Україна), Seed Master (Франція) та ін.

Анкерний сошник сівалки Primera DMC (Conyers et al., 2019) розроблений для прямої та мульчувальної сівби у посушливих регіонах. Принциповою різницею є те, що насіння закладається під поживні рештки, чим забезпечується хороший контакт з ґрунтом і створюються умови для проростання насіння. Висівний апарат (рис. 2) копіює нерівності поверхні поля за допомогою паралелограмної підвіски 3 і може відхилитись при наїзді на камінь чи іншу перешкоду.

Долотоподібний сошник 1 лишає за собою чисту борозну для висівного матеріалу, а подвійні котки 2 забезпечують рівномірну глибину ходу і покриття ґрунтом висіяного насіння. Сошник сівалки Amazone AD3 Special (рис. 2) застосовується при невеликій кількості соломи, наприклад, після буряків чи ріпаку. Достатній поперечний крок між сусідніми сошниками сівалки захищає їх від забивання рослинними рештками. Стійка 4 запобігає засміченню випускного отвору сошника при встановленні машини на землю.

Сошники як вітчизняної сівалки компанії Elvorti СЗС-2,1 (м. Кропивницький), так і німецької Sprinter ST (рис. 3) створюють борозенку в ґрунті зі щільним ложе для насіння не порушуючи структуру поверхневого шару ґрунту і мульчі, за рахунок чого добре зберігається волога (Sereda et al., 2019).

До сівалок з лаповими сошниками відносяться також УСК-2 (Казахстан), LD 3000 – AS QUASAR (Італія), СКС-2 (Білорусь) та ін. Лаповий сошник краще контролює глибину, ніж долотоподібний, хоча за певних умов роботи обидва схильні до нагрівання рослинних решток та пошкодження поверхні ґрунту, що призводить до втрати вологи.

Більш значні пошкодження ґрунту та забивання рослинністю в порівнянні з анкерними сошниками викликає

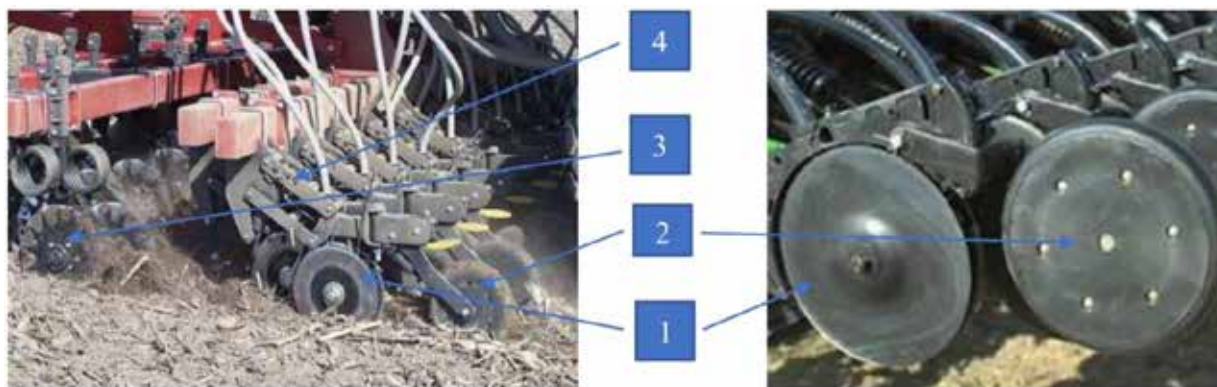


Рис. 1. Сошники сівалок Salford 520 (зліва), John Deere 730 (справа): 1 – дводисковий сошник; 2 – прикочувальне колесо; 3 – дисковий ніж; 4 – паралелограмний важільний механізм

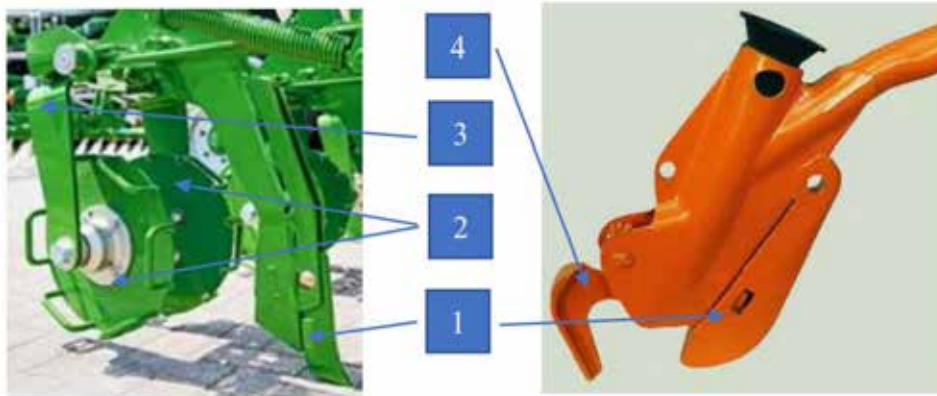


Рис. 2. Сошники Amazone: Primera DMC (зліва), AD3 Special (справа): 1 – долотоподібний сошник; 2 – прикочувальні котки; 3 – паралелограмна підвіска; 4 – стійка-запобіжник

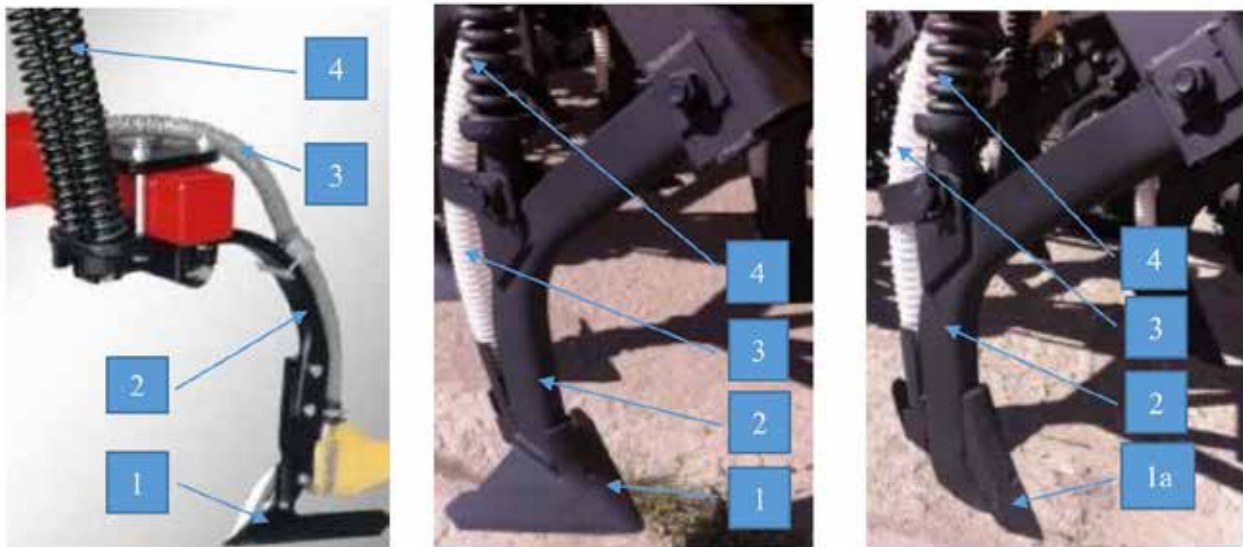


Рис. 3. Анкерні сошники сівалок Horsch Sprinter ST (зліва), Elvorti C3C-2,1 (по середині-лаповий, справа-долотоподібний): 1 – лапа; 1а – долото; 2 – стійка; 3 – насіннепровід; 4 – пружинний пристрій

культиваторна стрільчаста лапа, що характеризується нерівномірністю глибини ходу в ґрунті. Сівалки з культиваторними лапами часто виносять каміння та брили на поверхню ґрунту, чим ускладнюється наступний обробіток посівів (Aduov et al., 2020; Lamichhane et al., 2020).

Результати досліджень. Враховуючи складні польові умови виконання технологічного процесу прямої сівби, за яких існує підвищений ризик наїзду робочих органів на тверді брили ґрунту, каміння і т. п., варто зазначити, що важливою особливістю конструкції приведених на рис. 3 сошників є шарнірне кріплення стійки 2 сошника до рами сівалки за допомогою пружинного запобіжного пристрою. Вертикальні коливання пружини 4, зафіксованої верхнім кінцем, дозволяють сошнику обминати перешкоди, самоочищатися та зменшувати тяговий опір знаряддя. Відомі моделі подібних складних динамічних систем сучасних технологічних процесів, отримані в результаті аналізу коливань математичного маятника різних видів (Kutsenko et al., 2018a; Kutsenko et al., 2018b; Kutsenko et al., 2019; Semkiv, 2015; Semkiv et al., 2017).

Як найближчу спрощену теоретичну модель коливання пружини, яка закріплена одним кінцем на рамі і має умовний точковий вантаж m (сошник, що рухається в ґрунті) на іншому, далі використано розроблену за участю автора теорію механізму хитної пружини (Yablonskyi et al., 2019), де визначено траєкторію переміщення вантажу, тобто сошника, залежно від маси (умовно сили опору ґрунту), початкової довжини h та жорсткості пружини k (рис. 4).

За відомим алгоритмом складання рівнянь Лагранжа другого роду (Pavlovskyi, 2002) в якості першої узагальненої координатної функції $v(t)$ оберемо значення кута, який вісь пружини утворює з вертикальною віссю Oy . Другу узагальнену координатну функцію $u(t)$ пов'яжемо з подовженням пружини в часі; через h позначимо довжину пружини в ненавантаженому стані, тобто до зустрічі з перешкодою. Тоді віртуальні координати рухомого точкового вантажу можна обчислити за формулами:

$$x = (h+u)\sin v; y = -(h+u)\cos v. \quad (1)$$

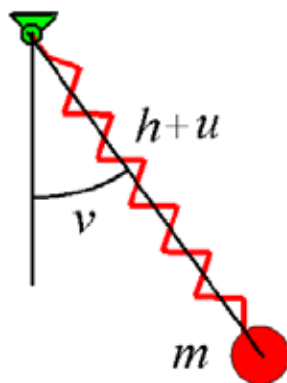


Рис. 4. Схема хитної пружини

Лагранжіан задаємо як різницю кінетичної і потенціальної енергій:

$$L = 0.5m \left(\left(\frac{du}{dt} \right)^2 + (h+u) \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 \right) - 0.5ku^2 - 9.81m(h+u)(1 - \cos v) - 9.81mu. \quad (2)$$

Для складання системи диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду використаємо співвідношення (тут точка над u і v означає похідну по часу):

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{du} \right) - \frac{dL}{du} = 0; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{dv} \right) - \frac{dL}{dv} = 0. \quad (3)$$

В результаті систему рівнянь Лагранжа другого роду одержуємо у вигляді:

$$\begin{cases} (u+h) \frac{d^2v}{dt^2} + 2 \frac{dv}{dt} \frac{du}{dt} + 9.81 \sin v = 0; \\ \frac{d^2u}{dt^2} - (u+h) \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 + \frac{ku}{m} - 9.81 \cos v = 0. \end{cases} \quad (4)$$

При зустрічі сошника з перешкодою (випадок навантаженого стану) за умови поєднання хитної пружини з математичним маятником її віссю є математичний маятник довжиною R , а сила опору ґрунту моделюється вантажем збільшеної маси M (рис. 5).

Для визначення траєкторії переміщення у вертикальній площині Oxy вантажу хитної пружини залежно від її параметрів у якості першої узагальненої координатної функції $v(t)$ оберемо значення кута, який вісь хитної пружини утворює з вертикальною віссю Oy . Другу узагальнену координатну функцію $u(t)$ пов'яжемо зі зміною довжини пружини h залежно від часу. Тоді віртуальні

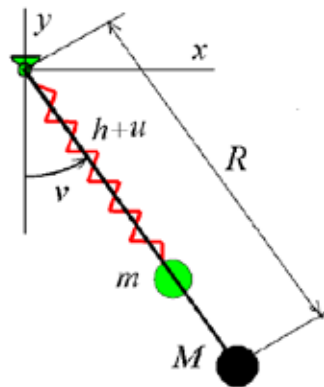


Рис. 5. Схема хитної пружини, поєднаної з маятником

координати рухомого точкового вантажу пружини можна обчислити за приведеними вище формулами (1).

Лагранжіан системи у цьому випадку:

$$L = 0.5MR^2 \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 + 0.5m \left(\left(\frac{du}{dt} \right)^2 + u^2 \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 \right) + 9.81(mu + MR) \cos v - 0.5k(u-h)^2. \quad (5)$$

Використавши співвідношення (3) складаємо систему диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду:

$$\begin{cases} m \frac{d^2u}{dt^2} - mu \left(\frac{dv}{dt} \right)^2 - 9.81m \cos v + k(u-h) = 0; \\ (MR^2 + mu^2) \frac{d^2v}{dt^2} + 2mu \frac{dv}{dt} \frac{du}{dt} + 9.81 \sin v (MR + mu) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Таким чином, траєкторія переміщення сошника при зустрічі з перешкодою залежить від сили опору ґрунту, довжини, жорсткості і швидкості зміни кута нахилу осі пружини запобіжного пристрою.

Висновки та перспективи досліджень. Технологія прямої сівби, яка все частіше застосовується вітчизняними виробниками сільськогосподарської продукції, потребує досконалих технічних засобів, зокрема сівалок. Аналіз сошників для прямої сівби показав, що нині існує значна різноманітність їх конструкцій. Однак, при виборі сівалки з анкерними чи дисковими сошниками важливо, щоби за певних умов роботи вона не забивалась ґрунтом та рослинними залишками, могла забезпечити рівномірність висіву як по довжині рядка так і за глибиною заробки насіння.

Дослідження пружинних запобіжних пристроїв анкерних сошників доцільно проводити з використанням системи рівнянь Лагранжа другого роду.

Бібліографічні посилання:

1. Aikins K. A., Antille D. L., Jensen T. A., Blackwell J. (2019). Performance ocomparison of residue management units of no-tillage sowing systems: A review. Eng Agric Environ Food. 12(2). 181-190. doi: 10.1016/j.eaef.2018.12.006.
2. Aduov M., Nukusheva S., Kaspakov E., Isenov K., Volodya K., Tulegenov, T. (2020). Seed drills with combined coulters in No-till technology in soil and climate zone conditions of Kazakhstan. Acta Agriculturae Scandinavica. 70(6). 525-531. doi: org/10.1080/09064710.2020.1784994.
3. Conyers M., Rijt V., Oates A., Poile G., Kirkegaard J., Kirkby C. (2019). The strategic use of minimum tillage within conservation agriculture in southern New South Wales, Australia. Soil and Tillage Research. 193. 17-26. doi: 10.1016/j.still.2019.05.021.

4. Karada P. R., Gaikwad A. (2018). Design and analysis of a disc furrow opener. *Int J Eng Technol Sci Res.* 5(3). 1777-1780.
5. Kutsenko L. M., Pikasov M. M., Zapolskyi L. L. (2018). Ilustratsii do statti "Heometrychne modeliuвання periodychnoi traiektorii vantazhu khytnoi pruzhyny". [Illustrations to the article «Geometrical modeling of the periodic trajectory of the swing spring load»] (in Ukrainian).
6. Kutsenko L., Semkiv O., Asotskyi V., Zapolskiy L., Shoman O., Ismailova N. (2018). Geometric modeling of the unfolding of a rod structure in the form of a double spherical pendulum in weightlessness. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 4 7(94). 13-24. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139595.
7. Kutsenko L., Semkiv O., Kalynovskiy A., Zapolskiy L., Shoman O., Virchenko G. (2019). Development of a method for computer simulation of a swinging spring load movement path. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 1 7(97). 60-73. doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154191.
8. Lamichhane JR., Constantin J., Schoving C., Maury P., Debaeke P., Aubertot JN., Dürr C. (2020). Analysis of soybean germination, emergence, and prediction of a possible northward establishment of the crop under climate change. *Eur J Agron.* 113: 125972. doi: 10.1016/j.eja.2019.125972.
9. Lankoski J., Ollikainen M., Uusitalo P. (2006). No-till technology: benefits to farmers and the environment? Theoretical analysis and application to Finnish agriculture *Eur Rev Agric Econ.* 33(2). 193-221. doi: 10.1093/erae/jbl003.
10. Li H., Liu H., Zhou J., Wei G., Shi S., Zhang X., Zhang R., Zhu H., He T. (2021). Development and First Results of a No-Till Pneumatic Seeder for Maize Precise Sowing in Huang-Huai-Hai Plain of China. *Agriculture.* 11. 1023. doi.org/10.3390/agriculture11101023.
11. Malasia M. Z., Celik A. (2019). Disc angle and tilt angle effects on forces acting on a single-disc type no-till seeder opener. *Soil and Tillage Research.* 194. 104304. doi: 10.1016/j.still.2019.104304.
12. Neupane, J., Guo, W. (2019). Agronomic bases and strategies of accurate water resources management: a review. *Agronomy.* 9(87). doi.org/10.3390/agronomy9020087.
13. Pavlovskiy M. A. (2002). *Teoretychna mekhanika.* [Theoretical mechanics]. – K. : Tekhnika 512 s. (in Ukrainian).
14. Semkiv O. M. (2015). Metod vyznachennia osoblyvykh traiektorii kolyvan vantazhu 2d-pruzhynnoho maiiatnyka. [The method of determining the special trajectory of load oscillations of a 2d-spring pendulum] *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu.* 71. 36-44 (in Ukrainian).
15. Semkiv O., Shoman O., Sukharkova E., Zhurilo A., Fedchenko H. (2017). Development of projection technique for determining the non-chaotic oscillation trajectories in the conservative pendulum systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2 4(86). 48-57. doi.org/10.15587/1729-4061.2017.95764.
16. Sereda L. P., Shvets O. I. (2019). Tekhnolohiia STRIP-TILL v roslinnytstvi. Perspektivnist vprovadzhennia v Ukraini. [STRIP-TIL technology in horticulture. Implementation perspective in Ukraine] *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria «Ukrainian Black Sea region agrarian science».* 4. 104-113 (in Ukrainian).
17. Volokha, M. (2019). Doslidzhennia pokaznykiv rozmishchennia skhodiv tsukrovkykh buriakiv za vysivu nasinnia mekhanichnymy i pnevmatychnymy sivalkami. [Study of indicators of placement of sugar beet seedlings when sowing seeds with mechanical and pneumatic seed drills]. *Tekhnika ta enerhetyka / Machinery & Energetics.* 297. 153-158. (in Ukrainian).
18. Yablonskyi P., Kutsenko L., Vanin V., Shoman O., Zapolskiy, P. (2019). Synthesis and classification of periodic trajectories movement of the cargo swinging. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2 7(98). 26-73. doi.org/10.15587/1729-4061.2019.161769.

Yablonskyi P. M., PhD, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
Design features of the spring safety device for direct seed coulters

Sowing is the most important operation of mechanized crop cultivation technology because, according to agrotechnical requirements, seeds must be placed in the soil of a certain structure, moisture, and hardness, at a given sowing depth and at a uniform interval along the row. Maintaining a consistent depth of pre-sowing tillage helps to compact the seedbed, ensures better seed embedding, and subsequently improves light access to the sprouts. This has a positive effect on the level of field germination of seeds and simultaneity (friendliness) of seedlings, which generally increases the initial development of plants and, as a result, crop yields. Therefore, the technical perfection of the working parts of machines for pre-sowing soil preparation and seed sowing plays an important role.

The article presents a classification of modern direct seeding coulters of domestic and foreign production based on similarity of the furrow shape. The design features of the disc coulters of the Salford 520 and John Deere 730 seeders, the capstan coulters of the Amazone Primera DMC and AD3 Special are described, the results of the development of a theoretical model of the mechanism of the oscillating spring on the example of the safety device of the capstan coulters of the Horsch Sprinter ST, Elvorti CZS-2.1 seeders are presented.

The analysis revealed that the coulters that form a V-shaped furrow are the least destructive to the integrity of the soil composition, copy its surface well, more accurately adhere to the depth of cultivation at higher speeds, but can capture and draw plant residues into the seedbed, which reduces the field germination of seeds and requires increased maintenance costs. Coulters that cut a U-shaped furrow create a dense seedbed, which contributes to faster seed germination, but they do not control the seeding depth sufficiently. Tine coulters provide a more uniform distribution of seed nutrition areas than chisel-shaped ones, which leads to an increase in crop yields, but they can bring boulders and large clods to the surface, especially when working on soils of high hardness.

Key words: seeds, direct sowing, seedbed, seeder, disk, capstan, tine coulters, safety device, oscillating spring, Lagrange's Equation of the second kind.

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСМІСІЇ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ ПРИ ДІЇ ЗМІННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Калінін Євгеній Іванович

доктор технічних наук, професор

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

ORCID: 0000-0001-6191-8446

kalinin@nubip.edu.ua

Колодненко Віталій Миколайович

старший викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-8450-6759

kolodnenko_vn@ukr.net

Міцнісні і втомні властивості є найбільш цінними механічними характеристиками гуми як конструкційного матеріалу. Для практики найцікавіше питання роботоздатності виробу та діапазону зміни його фізико-механічних параметрів при заданих умовах впливу середовища та режиму експлуатації.

Інтерес до проблем міцності та втоми гуми в останній час значно зріс у зв'язку з широким впровадженням у практику різних виробів, що несуть великі силові вантажі. Тому вивченню ефектів старіння, втоми та руйнування гум присвячені численні теоретичні та експериментальні дослідження.

У виданих останнім часом монографіях підбивається підсумок багаторічних теоретико-експериментальних досліджень проблем міцності полімерних тіл і значна увага в цих роботах приділена гумі.

При тривалій дії статичних чи знакозмінних навантажень у гумі можуть накопичуватися незворотні механіко-хімічні зміни. Таке накопичення зазвичай називають втомним процесом або втомою, а руйнування зразка в результаті його дії – втомним руйнуванням. У ході тривалого вивчення цього процесу розроблені для характеристики окремих його елементів специфічні терміни. Так, час роботи деталі від початку експлуатації до виходу з ладу називають довговічністю, витривалістю або терміном служби. Однак у масивних гумових виробках виявити тріщину надзвичайно складно, а після першої видимої тріщини ресурс наробітку деталі досягає 30% і більше загального терміну служби.

З урахуванням викладеного вище, визначимо вплив форми імпульсу тиску, що «біжить» з постійною швидкістю, на напружено-деформований стан порожнистого циліндра в межах пружності, так як описані вище елементи трансмісії автомобіля повинні працювати пружно.

Для розрахунку втомного руйнування гумових елементів трансмісії приймемо наступні припущення: в матеріалі є велика кількість різних дефектів і недосконалостей структури з різним ступенем небезпеки; із збільшенням об'єму деталі ймовірність наявності небезпечного дефекту зростає; міцність деталі визначається найнебезпечнішим дефектом.

У вихідному напруженому матеріалі гумового елемента також існують різні дефекти, що виникають в результаті механічного та теплового впливу або технології виготовлення, недосконалості структури (домішки в навантаженні та інгредієнтах гумової суміші), погане диспергування наповнювача або вулканізація, місця концентрації залишкових напружень і т.п. Такі недосконалості матеріалу є осередками мікротріщин, що дають початок руйнуванню навантаженої деталі. Ймовірність розвитку тріщини з найнебезпечнішого дефекту може бути задовільно описана у межах класичної теорії математичної статистики.

Ключові слова: трансмісія, гумові елементи, міцність, втома, силові вантажі, навантаження, руйнування, імпульс, тиск, мікротріщини, потужність.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.22>

Вступ. Інтерес до проблем міцності та втоми гуми в останній час значно зріс у зв'язку з широким впровадженням у практику різних виробів, що несуть великі силові вантажі. Тому вивченню ефектів старіння, втоми та руйнування гум присвячені численні теоретичні та експериментальні дослідження. Накопичений до теперішнього часу матеріал, особливо з певних питань, настільки об'ємний, що повний його виклад має бути предметом самостійного викладення.

Матеріали та методи. У виданих останнім часом монографіях підбивається підсумок багаторічних теоретико-експериментальних досліджень проблем міц-

ності полімерних тіл. Значна увага в цих роботах приділена гумі.

При тривалій дії статичних чи знакозмінних навантажень у гумі можуть накопичуватися незворотні механіко-хімічні зміни. Таке накопичення зазвичай називають втомним процесом або втомою, а руйнування зразка в результаті його дії – втомним руйнуванням. У ході тривалого вивчення цього процесу розроблені для характеристики окремих його елементів специфічні терміни. Так, час роботи деталі від початку експлуатації до виходу з ладу називають довговічністю, витривалістю або терміном служби. При цьому користуються також термінами

«границя втоми» або «межа витривалості», розуміючи під ними таке найбільше напруження, яке зразок може витримати, при скільки завгодно великому числі циклів навантаження.

Ці поняття запозичені з методики дослідження металів, де характер діаграми напруження-цикли напруження $N(\sigma)$, робити їх прийнятними. При випробуванні полімерних матеріалів зламу діаграми $N(\sigma)$ практично не спостерігається, тому поняттю «межа витривалості» фактично відповідає напруження при певній базі випробувань і деякої малої ймовірності руйнування.

Термін «втомне руйнування» є невизначеним Для металів і деяких жорстких пластмас в більшості випадків випробувань він означає остаточне руйнування зразка. Для гум таке визначення недостатньо повне, оскільки враховує різний характер двох стадій випробувань – до й після утворення тріщин. Більш того, для масивних гумових деталей досить важко встановити остаточне руйнування, оскільки при випробуваннях, наприклад на стиснення і зсув, поділ зразка на частини, як правило, не відбувається. З теоретичної точки зору найбільш правильною ознакою втомного руйнування, очевидно, слід вважати появу першої видимої тріщини. Для металів та деяких пластмас виявити тріщину можна за допомогою електронного мікроскопа.

Однак у масивних гумових виробках виявити тріщину надзвичайно складно, а після першої видимої тріщини ресурс наробітку деталі досягає 30% і більше загального терміну служби.

До того ж механічні характеристики вихідного матеріалу і зруйнованого зразка в ряді випадків відрізняються незначно. Усе це змушує розробляти деякі специфічні оцінки визначення довговічності зразка стосовно конкретних видів випробувань, про що докладніше буде сказано нижче.

У процесі втоми поряд з механічними зусиллями неминує діють такі механічні фактори, як світло, тепло, хімічно активне середовище і т.п. Ці фактори негативно впливаючи на властивості матеріалу, проте, не призводять до руйнування деталі. У зв'язку з цим необхідно розділяти поняття втоми і старіння, маючи на увазі, що в першому випадку йдеться про зміни властивостей матеріалу, обумовлених у більшості випадків дією тільки механічних факторів. Поняття «старіння» охоплює всі механічні, фізичні, хімічні та електричні процеси, які у своїй колективно-функціональній взаємодії призводять до незворотної зміни властивостей матеріалу.

Слід також зазначити, що поняття «старіння» та «втоми» взяті з термінології випробування металів, де, у свою чергу, вони були запозичені із біології. Тому при вживанні таких термінів слід звернути увагу на різне значення цих понять для біології та матеріалознавства.

Результати досліджень. Завдання вирішуємо із застосуванням інтегрального перетворення Фур'є в рухомій системі координат, що пов'язана з рухомим вздовж осі z імпульсом тиску. Визначимо радіальне переміщення u , об'ємну деформацію θ і напруження σ_r і τ . Інші параметри напружено-деформованого стану знахо-

димо за формулами узагальненого закону Гука. Розв'язок для перерахованих вище функцій виглядає так:

$$f = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} P(\xi) F(\xi) e^{-i\xi z} d\xi, \quad (1)$$

де f – вираз для функцій u , θ , σ_r або τ ; $P(\xi)$ – трансформанта функції тиску; $F(\xi)$ – трансформанта відповідної функції (u , θ , σ_r або τ); t – параметр перетворення.

Трансформанта Фур'є для навантаження $P(\xi)$ має вигляд:

$$P(\xi) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(z) e^{i\xi z} dz, \quad (2)$$

або

$$P(\xi) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(z) \cos \xi z dz + i \int_{-\infty}^{+\infty} p(z) \sin \xi z dz = P_1(\xi) + iP_2(\xi), \quad (3)$$

де $p(z)$ – закон зміни навантаження вздовж осі z (у рухомих осях координат).

В формулі (1.3) функція $P_1(\xi)$ є парною за параметром ξ , а $P_2(\xi)$ – непарною. Підставивши (1.3) в (1.3) для парної подінтегральної функції $F(\xi)$ за параметром ξ , отримуємо:

$$f = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} (P_1(\xi) \cos \xi z + P_2(\xi) \sin \xi z) F(\xi) d\xi, \quad (4)$$

для $F(\xi) = i\bar{F}(\xi)$, де $\bar{F}(\xi)$ непарна по ξ .

Тоді маємо:

$$f = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} (P_1(\xi) \sin \xi z - P_2(\xi) \cos \xi z) \bar{F}(\xi) d\xi. \quad (5)$$

Вираз (1.4) використовується для обчислення функцій u , θ та σ_r , вираз (3.5) – для обчислення τ . Якщо $p(z)$ парна по z , то $P_2(\xi) = 0$.

Розглянемо різні закони змінення навантаження вздовж осі z .

1) імпульс тиску прямокутного профілю:

$$p(z) = \begin{cases} p & \text{при } \left| \frac{z}{c} \right| \leq 1; \\ 0 & \text{при } \left| \frac{z}{c} \right| > 1. \end{cases} \quad (6)$$

$$p(\xi) = \frac{2p \sin \xi c}{\xi} = 2pd \frac{\sin \eta \frac{c}{d}}{\eta}, \quad (7)$$

де $\eta = \xi d$; d – внутрішній діаметр циліндра; c – півширина імпульсу;

2) імпульс тиску, що має форму експоненти

$$p(z) = \begin{cases} p e^{(bd)z/d} & \text{при } -\infty < \frac{z}{d} \leq 0; \\ 0 & \text{при } 0 < \frac{z}{d} < \infty. \end{cases} \quad (8)$$

$$P_1(\eta) = \frac{pd(\beta d)}{\eta^2 + (\beta d)^2}; \quad (9)$$

$$P_2(\eta) = \frac{p\eta d}{\eta^2 + (\beta d)^2}; \quad (10)$$

3) імпульс тиску, що має форму косинусоїди:

$$p(z) = \begin{cases} p \cos \frac{\pi z}{2c} & \text{при } \left| \frac{z}{c} \right| \leq 1; \\ 0 & \text{при } \left| \frac{z}{c} \right| > 1. \end{cases} \quad (11)$$

$$P(\eta) = \frac{4\pi c p \cos \eta \frac{c}{a}}{\pi^2 - 4\eta^2 \left(\frac{c}{a} \right)^2}. \quad (12)$$

Розв'язок для трансформантів функцій u , θ , σ_r та τ буде мат вигляд:

$$[F(\eta)]_u = \frac{\eta}{\Delta(\eta)} \left\{ \varepsilon \left[\Delta_A I_1 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) + \Delta_B K_1 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) \right] + \Delta_C I_1 \left(\gamma \eta \frac{r}{d} \right) - \Delta_D K_1 \left(\gamma \eta \frac{r}{d} \right) \right\}; \quad (13)$$

$$[F(\eta)]_\theta = \frac{\eta^2}{\Delta(\eta)} \left[\Delta_A I_0 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) - \Delta_B K_0 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) \right]; \quad (14)$$

$$[F(\eta)]_\tau = \frac{\eta^2}{\Delta(\eta)} \left\{ I \left[-\Delta_C I_1 \left(\gamma \eta \frac{r}{d} \right) + \Delta_D K_1 \left(\gamma \eta \frac{r}{d} \right) \right] + 2\varepsilon \left[\Delta_A I_1 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) + \Delta_B K_1 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) \right] \right\}; \quad (15)$$

$$[F(\eta)]_{\sigma_r} = \frac{\eta}{\Delta(\eta)} \left\{ -\Delta_A \left[I_0 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) - \frac{2\varepsilon}{r/d} I_1 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) \right] + \Delta_B \left[\eta K_0 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) + \frac{2\varepsilon}{r/d} K_1 \left(\varepsilon \eta \frac{r}{d} \right) \right] + 2\Delta_C \left[\eta I_0 \left(\gamma \eta \frac{r}{d} \right) - \frac{I_1 \left(\gamma \eta \frac{r}{d} \right)}{r/d} \right] + 2\Delta_D \left[\eta K_0 \left(\gamma \eta \frac{r}{d} \right) + \frac{K_1 \left(\gamma \eta \frac{r}{d} \right)}{r/d} \right] \right\}; \quad (16)$$

Причому $M_1 = \frac{v}{C_1}$; $M_2 = \frac{v}{C_2}$; $\varepsilon = \sqrt{1 - M_1^2}$;

$$\gamma = \sqrt{1 - M_2^2}; \quad C_1 = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}}; \quad C_2 = \sqrt{\frac{G}{\rho}}; \quad I = 1 + \gamma^2; \quad \lambda$$

та G – постійні Ляме; ρ – густина матеріалу.

Визначник $\Delta(\eta)$, що входить в рівняння (13) – (16) має вигляд:

$$\Delta(\eta) = \begin{vmatrix} F_1(d) & F_2(d) & iF_3(d) & iF_4(d) \\ F_1(D) & F_2(D) & iF_3(D) & iF_4(D) \\ if_1(d) & if_2(d) & f_3(d) & f_4(d) \\ if_1(D) & if_2(D) & f_3(D) & f_4(D) \end{vmatrix}, \quad (17)$$

де D – зовнішній діаметр циліндру.

При цьому:

$$f_1(j) = 2\varepsilon I_1(\varepsilon n);$$

$$f_2(j) = -2\varepsilon K_1(\varepsilon n);$$

$$f_3(j) = -I_1(\gamma n);$$

$$f_4(j) = -IK_1(\gamma n);$$

$$F_1(j) = k \left[I_0(\varepsilon n) - \frac{f_1(j)}{n} \right]; \quad (18)$$

$$F_2(j) = k \left[IK_0(\varepsilon n) - \frac{f_2(j)}{n} \right];$$

$$F_3(j) = 2k \left[\gamma I_0(\gamma n) + \frac{f_3(j)}{nl} \right];$$

$$F_4(j) = -2k \left[\gamma K_0(\gamma n) - \frac{f_4(j)}{nl} \right],$$

де для $j = d$, $k = \eta^2$, $n = \eta$, а для $j = D$, $k = \eta$, $n = \frac{b}{d} \eta$.

Вирази для Δ_A , Δ_B , Δ_C та Δ_D видно зі співвідношення

$$\Delta(\eta) = F_1(d)\Delta_A - F_2(d)\Delta_B - F_3(d)\Delta_C + F_4(d)\Delta_D. \quad (19)$$

При розрахунку u , θ та σ_r за формулами (13) – (16) на ПК інтеграли у виразах, отриманих з (4), розбивалися

на два, причому перший інтеграл \int_0^α обчислювався за формулами (13) – (16), а другий \int_α^∞ – за асимптотичним

представленням функцій Бесселя, в яких утримувався один член. Величина α вибиралася залежно від геометрії циліндра. Коефіцієнт Пуассона $\mu = 1/3$. Точність розрахунку величини σ_r на межах дозволяє оцінити точність прийнятого методу розрахунку порівнянням з граничними умовами:

$$\bar{\sigma}_r = \frac{\sigma_r}{p} = -1 \text{ при } \frac{r}{d} = 0 \text{ та } \frac{z}{d} = 0; \quad (20)$$

$$\sigma_r = 0 \text{ при } \frac{r}{d} = \frac{b}{d}. \quad (21)$$

Обговорення. Розрахунки показали, що напруження руйнування раніше за все з'являються на колі внутрішньої поверхні $r/d = 1$, $z/d = 0$ (або біля неї).

На рис. 1 показані зміни деформацій, напружень та радіального переміщення для циліндру однієї геометрії під дією прямокутного (рис. 1, а), косинусоїдального (рис. 1, б) та експоненціального (рис. 1, в) імпульсів по довжині циліндру z/d (в рухомих координатах), що «біжать» з однаковою швидкістю, причому для експоненціального профілю $\beta\alpha = 1$, а для прямокутного та косинусоїдального однакові c/d та $\left| \frac{p(z)}{p} \right|_{\max} = 1$.

З рис. 1 видно, що всі параметри суттєво залежать від форми імпульсу тиску. Прямокутний імпульс призводить до появи більших напружень та деформацій, ніж косинусоїдальний, а поява вістря в імпульсі (експонента)

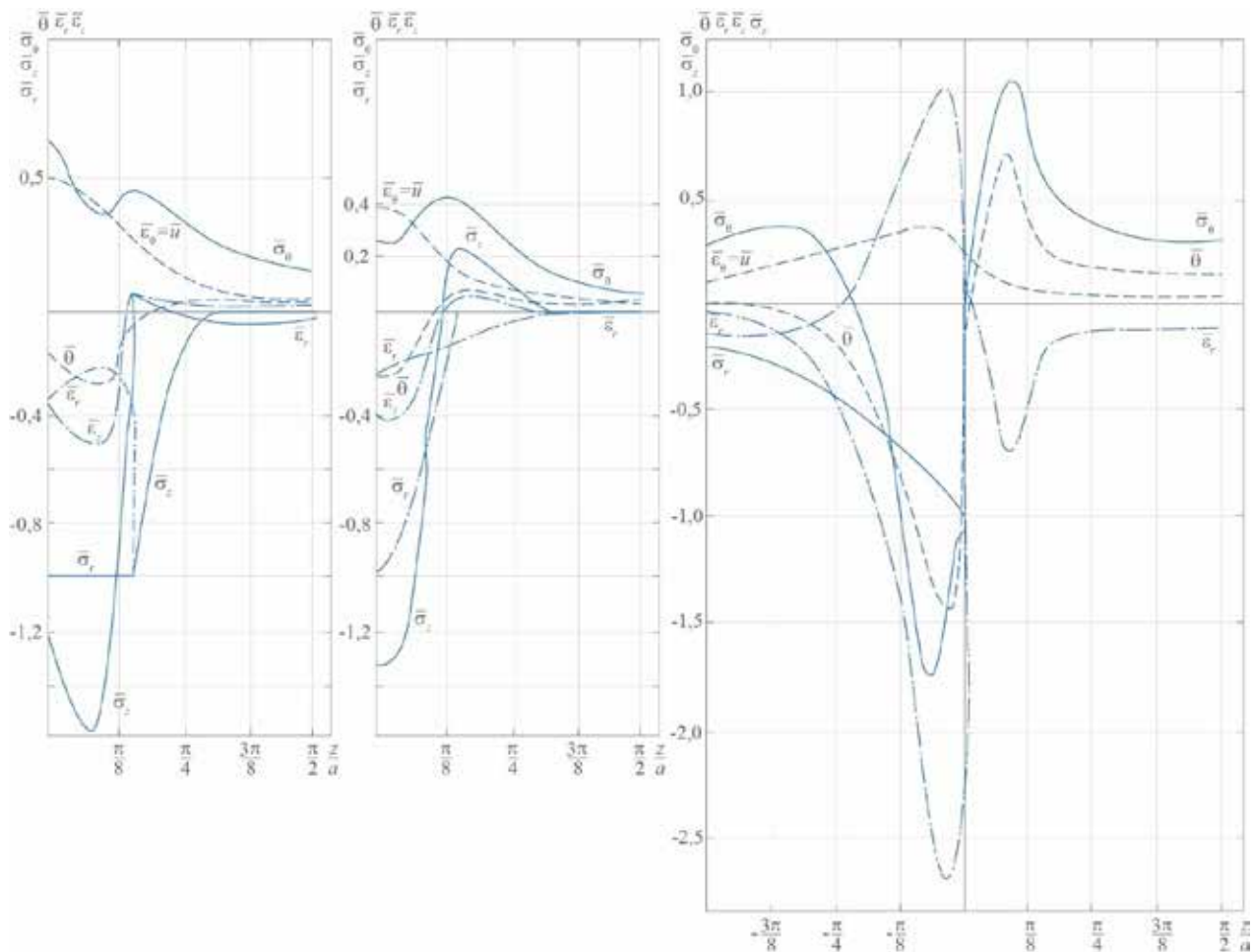


Рис. 1. Зміни деформацій, напружень та радіального переміщення для циліндру однієї геометрії під дією прямокутного (а), косинусоїдального (б) та експоненціального (в) імпульсів

викликає сильне зростання усіх параметрів навколо вістря навантаження.

З рис. 2 видно, що радіальне переміщення в перерізі $r/d = 1$, $z/d = 0$ має максимум, що залежить від b/d , причому при рівних b/d значення \bar{u} для прямокутного імпульсу для розрахованих значень $c/d \leq \pi$ більше, ніж для косинусоїдального. При ширині імпульсу $c/d > \pi$ функція $\bar{u}(c/d)$ досягає постійного значення, яке залежить від b/d .

З залежності (рис. 2) $\bar{u} = f(\gamma)$ при $b/d = 5$ і $c/d = 3\pi/32$ видно, що зі зменшенням швидкості пробігу імпульсу (збільшенням γ) \bar{u} зменшується за будь-якої форми імпульсу, причому для прямокутного імпульсу \bar{u} більше, ніж для косинусоїдального.

На рис. 3 дана залежність величини інтенсивності напруження $\sigma_i = \frac{\sigma_i}{\rho}$ по довжині циліндра z/a для різних форм імпульсу при $b/a = 4$; $\gamma = 0,6$;

$c/d = 5\pi/32$; $r/d = 1$. Крива $\bar{\sigma}_i = f(z/d)$ для косинусоїдального імпульсу має максимум в центральній точці $z/d = 0$, а для прямокутного максимум «розпливається» в межах $z/d = \pm c/d$. Зі збільшенням $|z/d|$ величина $\bar{\sigma}_i$ різко зменшується, причому для прямокутного імпульсу $\bar{\sigma}_i$ більше, ніж для косинусоїдального.

Висновки. Для імпульсу експоненціального профілю $\bar{\sigma}_i$ поблизу $z/d = 0$ значно зростає, оскільки вістря імпульсу призводить до великого місцевого стиснення на внутрішній поверхні циліндра.

Необхідно враховувати, що врахування форми імпульсу тиску призводить до ряду труднощів: необхідності обчислення межі при $\eta \rightarrow 0$ підінтегрального виразу для кожної форми імпульсу; необхідності уникнути перетворення в нуль знаменника підінтегральної функції, підбору відповідної асимптотики для розрахунку інтеграла при прагненні аргументу до нескінченності.

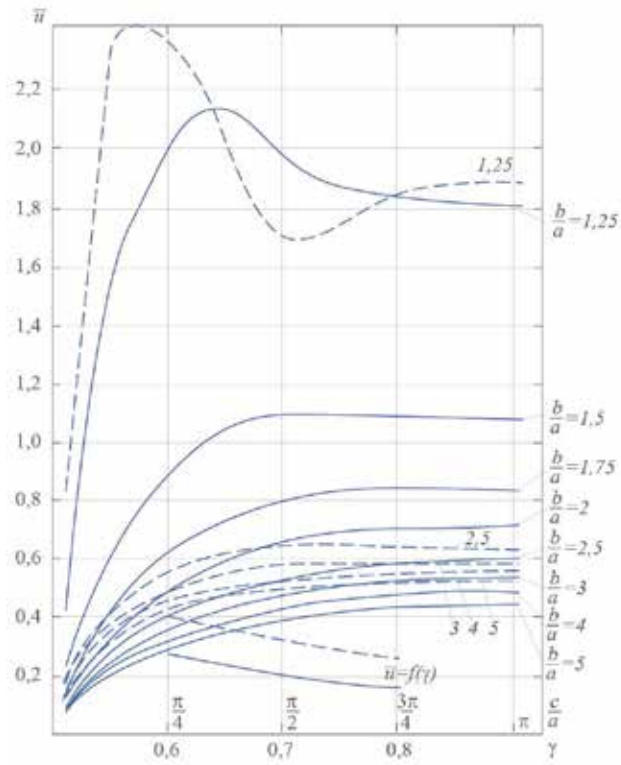


Рис. 2. Зміни середнього значення радіального переміщення для циліндру однієї геометрії під дією прямокутного та косинусоїдального імпульсів

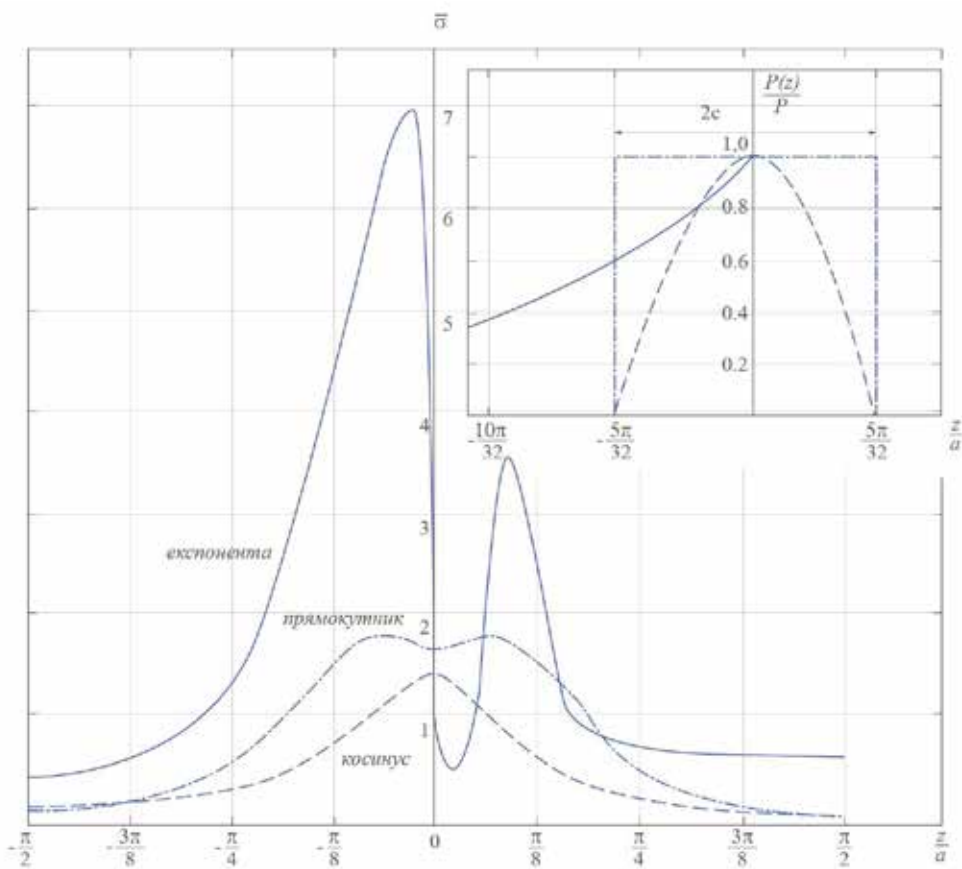


Рис. 3. Залежність величини інтенсивності напруження $\sigma_i = \frac{\sigma_i}{\rho}$ по довжині циліндра z/a

Бібліографічні посилання:

1. M.R.M. Aliha, S. Shaker, Effect of bitumen type, temperature and aging on mixed I/ II fracture toughness of asphalt binders-experimental and theoretical assessment, *Theor. Appl. Fract. Mech.* 110 (2020), 102801, <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2020.102801>.
2. L. Bockstal, T. Berchem, Q. Schmetz, A. Richel, Devulcanisation and reclaiming of tires and rubber by physical and chemical processes: A review, *J. Clean. Prod.* 236 (2019), 117574, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.049>.
3. H.R. Karimi, M.R.M. Aliha, E. Khedri, A. Mousavi, S.M. Salehi, P.J. Haghighatpour, P. Ebneabbasi, Strength and cracking resistance of concrete containing different percentages and sizes of recycled tire rubber granules, *J. Build. Eng.* 67 (2023), 106033, <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106033>.
4. N.S. Mashaan, M.R. Karim, N.S. Mashaan, M.R. Karim, Waste tyre rubber in asphalt pavement modification Waste tyre rubber in asphalt pavement modification, 8917 (2014) 5–9. <https://doi.org/10.1179/1432891714Z.000000000922>.
5. T. Wang, F. Xiao, S. Amirkhanian, W. Huang, M. Zheng, A review on low temperature performances of rubberized asphalt materials, *Constr. Build. Mater.* 145 (2017) 483–505, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.031>.
6. S. Amid, A. Foroutan, S. Dessouky, H. Mork, A. Kavussi, The use of high content of fine crumb rubber in asphalt mixes using dry process, *Constr. Build. Mater.* 222 (2019) 643–653, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.180>.
7. K. Liu, K. Zhang, X. Shi, Performance evaluation and modification mechanism analysis of asphalt binders modified by graphene oxide, *Constr. Build. Mater.* 163 (2018) 880–889, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.171>.

Kalinin E.I., Doctor of technical sciences, Professor, National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Kolodnenko V. M., Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Research of free oscillations of the body of the vehicle while driving

Strength and fatigue properties are the most valuable mechanical characteristics of rubber as a construction material. For practice, the most interesting question is the product's performance and the range of changes in its physical and mechanical parameters under the given conditions of environmental influence and operating mode.

Interest in the problems of strength and fatigue of rubber has recently increased significantly due to the widespread introduction into practice of various products that carry large power loads. Therefore, numerous theoretical and experimental studies are devoted to the study of the effects of aging, fatigue and destruction of rubber.

In recently published monographs, a summary of many years of theoretical and experimental research on the problems of the strength of polymer bodies is summed up, and considerable attention is paid to rubber in these works.

Irreversible mechanical and chemical changes may accumulate in rubber during long-term exposure to static or sign-changing loads. Such accumulation is usually called the fatigue process or fatigue, and the destruction of the sample as a result of its action – fatigue failure. During the long-term study of this process, specific terms were developed to characterize its individual elements. Thus, the working time of a part from the start of operation to failure is called durability, endurance or service life.

However, it is extremely difficult to detect a crack in massive rubber products, and after the first visible crack, the service life of the part reaches 30% or more of the total service life.

Taking into account the above, let's determine the influence of the shape of the pressure pulse, which "runs" at a constant speed, on the stressed-deformed state of the hollow cylinder within the limits of elasticity, since the above-described elements of the car transmission must work elastically.

To calculate the fatigue failure of the rubber elements of the transmission, we will accept the following assumptions: 1) the material contains a large number of various defects and structural imperfections with varying degrees of danger; 2) with an increase in the volume of the part, the probability of the presence of a dangerous defect increases; 3) the strength of the part is determined by the most dangerous defect.

In the original stressed material of the rubber element, there are also various defects arising as a result of mechanical and thermal effects or manufacturing technology, structural imperfections (impurities in the load and ingredients of the rubber mixture), poor dispersion of the filler or vulcanization, places of concentration of residual stresses, etc. Such material imperfections are centers of microcracks that give rise to the destruction of the loaded part. The probability of the development of a crack from the most dangerous defect can be satisfactorily described within the classical theory of mathematical statistics.

Key words: transmission, rubber elements, strength, fatigue, power loads, load, destruction, impulse, pressure, microcracks, power.