



ISSUE №25

Part №1



International periodic scientific journal

—*ONLINE*

www.moderntechno.de

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 87.25)



MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Issue №25
Part 1
February 2023

Published by:
Sergeieva&Co
Karlsruhe, Germany

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*

Scientific Secretary: Kuprienko Sergey, *PhD in technical sciences*

Editorial board: More than 200 doctors of science. Full list on page:

<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/about/editorialTeam>

Expert Board of the journal: Full list on page:

<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "**Modern Engineering and Innovative Technologies**" has been published since 2017 and has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars.

Periodicity of publication: Quarterly

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in IndexCopernicus, GoogleScholar.

UDC 08

LBC 94

DOI: 10.30890/2567-5273.2023-25-01

Published by:

Sergeieva&Co

Lußstr. 13

76227 Karlsruhe, Germany

e-mail: editor@moderntechno.de

site: www.moderntechno.de



УДК 621.9.0255

**METHOD OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF CUTTING HIGHLY
ABRASIVE MATERIALS WITH ABRASIVE REINFORCED CIRCLES
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РІЗАННЯ
ВИСОКОАБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ АБРАЗИВНИМИ АРМОВАНИМИ КРУГАМИ**

Pochka K.I. / Почка К.І.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-0355-002X

Abrashkevych Yu.D. / Абрашкевич Ю.Д.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-8396-7812

Prystailo M.O. / Пристайло М.О.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-3151-4680

Polishchuk A.G. / Поліщук А.Г.

ORCID: 0000-0003-4808-9932

*Kyiv National University of Construction and Architecture,**Kyiv, Povitroflotsky Avenue, 31, 03037**Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,**Київ, пр. Повітрофлотський, 31, 03037*

Анотація. В роботі розглядається оцінка взаємодії високоабразивних матеріалів з абразивним армованим кругом, яка здійснювалась за основою однофакторного експерименту завдяки застосуванню високотехнологічного вимірювально-реєструючого обладнання, що дозволило швидко з першочергових даних отримувати точні результати. Обробка осцилограм полягала у визначенні середньомаксимальної ординати сили різання P та знаходження її середнього значення. Завдяки застосуванню запроєктованим та розробленим високоточної системі керування подачі робочого органу та високотехнологічному вимірювально-реєструючому обладнанню, яке дозволяє швидко і без повторювань з першочергових даних отримувати достатньо точні оцінки взаємодії високоабразивних матеріалів з абразивним армованим кругом та дало можливість обробляти їх за допомогою сучасного програмного забезпечення, що позбавило від трудомісткого процесу обробки даних. Це, в свою чергу, дало можливість мінімізувати число вимірів сили різання при заданій точності і надійності результатів дослідів з вірогідністю отриманих даних від 0,90 до 0,95.

Ключові слова: експериментальні дослідження, високоабразивні матеріали, абразивний армований круг, вимірювально-реєструюче обладнання, ймовірність виконання нерівності.

Вступ. При проведенні експериментальних досліджень досить часто використовується фізичне моделювання, що дозволяє перевірити відповідність складеної математичної моделі чи дослідити складні явища при неможливості побудови математичної моделі.

Оцінка взаємодії високоабразивних матеріалів з абразивним армованим кругом здійснювалась за основою однофакторного експерименту завдяки застосуванню високотехнологічного вимірювально-реєструючого обладнання, що дозволило швидко з першочергових даних отримувати точні результати.

Основний текст. Обробка осцилограм полягала у визначенні середньомаксимальної ординати сили різання P та знаходження її середнього значення.



Необхідне число повторень дослідів для визначення однофакторної залежності визначалося з рівняння [1]:

$$P^* \left\{ \left| \Delta_x \right| \leq \frac{z}{\sqrt{n}} W_x \right\} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1)$$

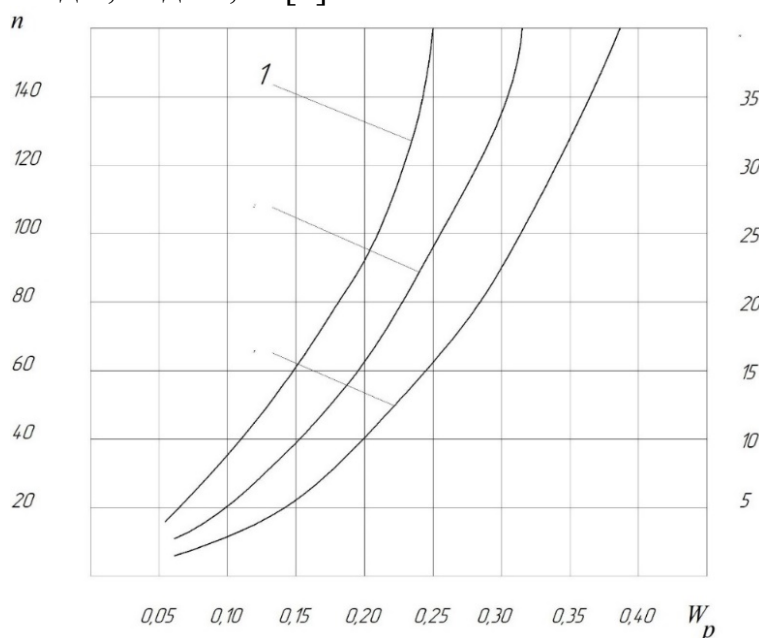
де P^* – ймовірність виконання нерівності у фігурних дужках; Δ_x – відношення відхилення емпіричного середнього значення випадкової величини x від його істинного середнього значення; n – число вимірів величини x ; W_x – коефіцієнт варіації величини x ; z – верхня межа інтегралу ймовірності, що характеризує ймовірність влучення середнього значення в заданий довірчий інтервал.

З виразу (1) визначаємо необхідне число вимірів сили різання при кожному сполученні умов дослідів

$$n \geq \frac{z^2 W_x^2}{\Delta_x^2} \quad (2)$$

де величина z визначається по таблицях інтеграла ймовірності відповідно до заданої ймовірності P^* .

На рисунку 1 наведено графіки залежності $n(W_p)$ при різних значеннях Δ_x та P^* . Наприклад, при відносному відхиленні $\Delta_x=0,1$ та ймовірності $P^*=0,95$ необхідне число вимірювань сили різання для значень коефіцієнта варіації в межах 0,2 - 0,3 повинно бути 15-35. Повторність дослідів знаходилась в інтервалі від 3 до 5 (при числі вимірів у кожному досліді від 200 до 500), що при коефіцієнті варіації дослідних величин від 0,2 до 0,3 відповідає вірогідності отриманих даних від 0,90 до 0,95 [1].



Задана точність $\Delta_x=0,05$ або $\Delta_x=0,1$

Рисунок 1 – Графік для визначення необхідного числа вимірів сили різання при заданій точності і надійності результатів дослідів:

1 – $P^*=0,99$; 2 – $P^*=0,95$ 3 – $P^*=0,9$

Джерело: [1]



Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА [2] доопрацьовано для дослідження фізичної моделі процесу різання високоабразивних матеріалів абразивним армованим кругом (рисунок 2).



Рисунок 2 – Динамометричний візок

Авторська розробка

На бокових поверхнях тензобалки 1 наклеєні тензодатчики Д1-Д4, що реєструють дотичну силу P , яка діє на абразивний армований круг. На горизонтальній тензобалці 2 – тензодатчики Д5-Д8, що реєструють нормальну силу N , яка діє під час різання вогнетривкої цегли на абразивний армований круг (рисунок 3).

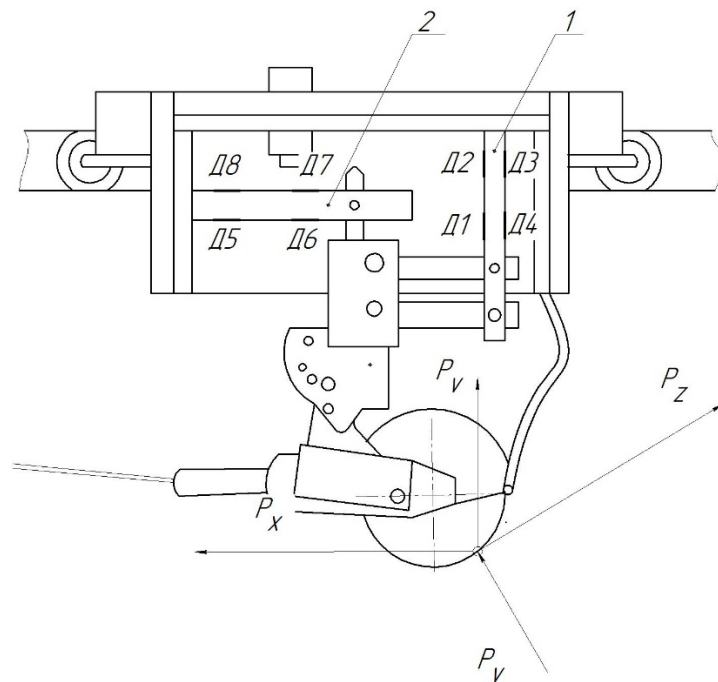
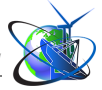


Рисунок 3 – Схема розташування тензодатчиків на динамометричному візку

Джерело: [2]



Групи тензодатчиків включено в електричні мостові схеми, що показані на рисунку 4. Сила різання через конструкцію абразивного армованого круга передається тензодатчикам деформації яких трансформуються в зміну опору вимірювальних елементів, так у всіх мостових схемах з'являється розбаланс.

В основу методів вимірювання датчиками опору покладений тензометричний ефект – зміна електричного (тобто омичного) опору металевого дроту датчика при його пружній деформації [3].

Датчики наклеєні на поверхню тензометричної балки, що деформується, полімерним клеєм по спеціальній технології. При проходженні через датчики електричного струму в результаті деформації тензометричної балки змінюється опір датчиків. В результаті зміниться напруга в електричному ланцюзі. Оскільки деформація пропорційна силам, які її викликають, то їм буде пропорційна зміна напруги струму в електричному колі.

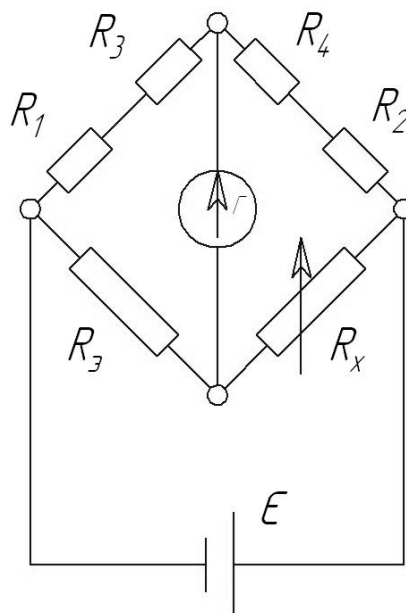


Рисунок 4 – Схема з'єднання тензометричних датчиків у вимірювальні мости

Джерело: [3]

Датчики з'єднуються в мостову схему. В даному випадку на кожен тензометричну балочку (рисунок 3) наклеєно по чотири датчики, які одночасно виконують функції робочих та компенсаційних датчиків. Таке підключення датчиків дозволяє реєструвати тільки різницю напруги на базовій ділянці балочки ℓ_i , замкненій між датчиками.

Станові балансу тензометричних схем (рисунок 4) вимірювання дотичної та нормальної складової сил, що діють на абразивний армований круг та відповідають рівності

$$(R_1 + R_3)R_x = (R_2 + R_4)R_9; \quad (3)$$

$$(R_5 + R_7)R_x = (R_6 + R_8)R_9; \quad (4)$$

де $R_{1...8}$ – опір тензодатчиків (плечі моста опору); R_9 – еталонний опір; R_x – вимірювальний опір.



В комплект вимірювальної апаратури (рисунок 5) входить: блок живлення 1; кабель живлення 2; модуль АЦП (аналого-цифровий перетворювач); шестиканальний підсилювач та мікроконтролерний блок керування 3; кабель передачі сигналу (інтерфейс SCI – Serial Communication Interface) 4; та персональний комп'ютер (надалі ПК) 5.

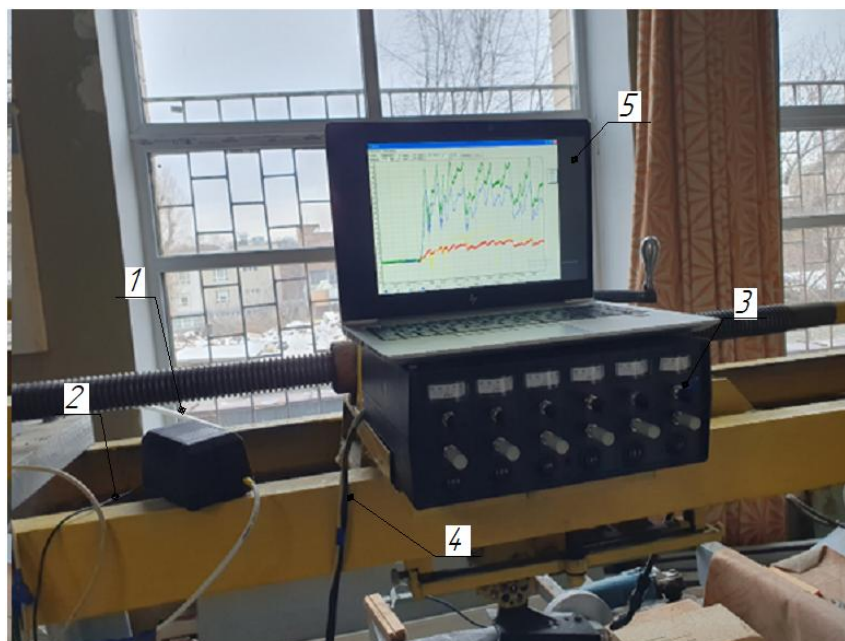


Рисунок 5 – Комплект вимірювальної апаратури

Авторська розробка

Сигнал розбалансу моста з включенням тензодатчиків підсилюється за допомогою інструментальних операційних підсилювачів (рисунок 6), увімкнених за схемою диференціального підсилювача (рисунок 7) з погашенням синфазних перешкод.

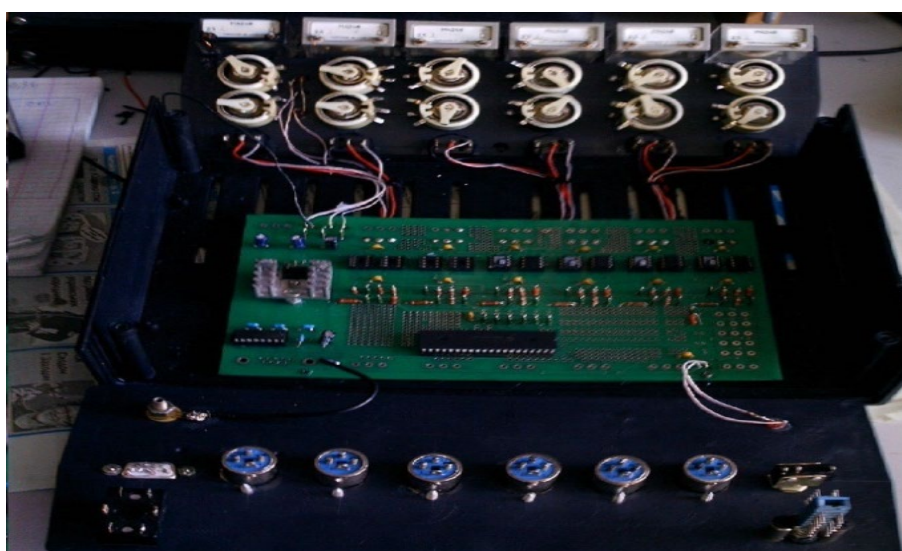


Рисунок 6 – АЦП з блоком підсилювачів

Джерело: [3]

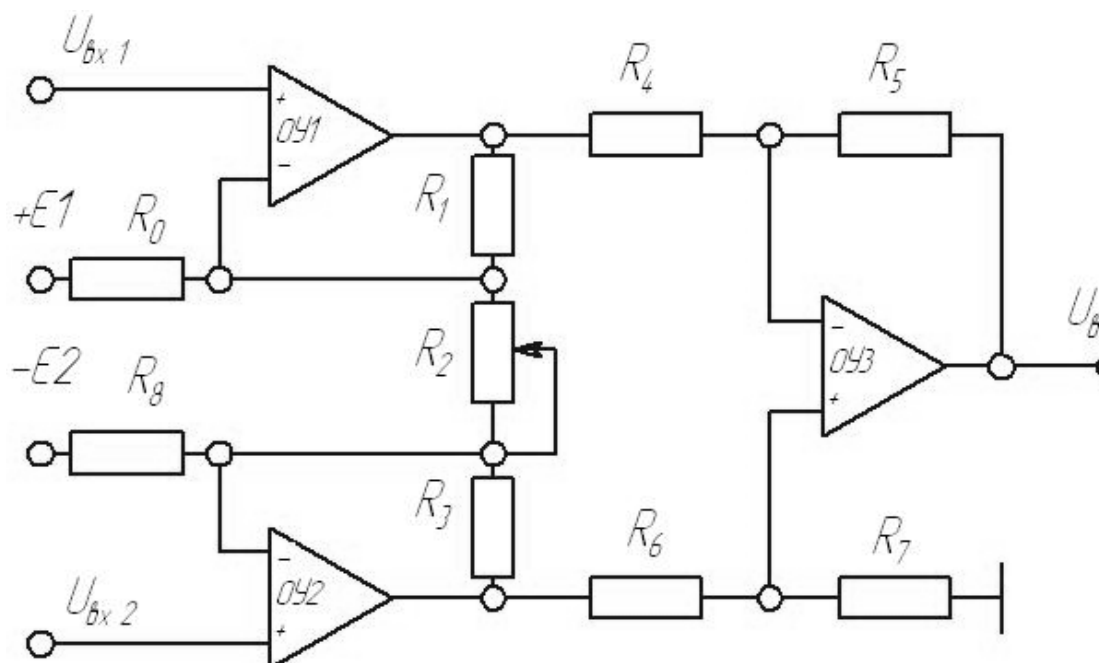


Рисунок 7 – Схема диференціального підсилювача

Джерело: [3]

Завдяки цьому вдається підсилити дуже малий рівень електричних коливань з уникненням зростання паразитних шумів та прямою передаточною характеристикою. Також, завдяки включенню за такою схемою, вдається уникнути дрейфу нуля, який притаманний звичайним схемам операційних підсилювачів.

За умови $R_4 R_7 = R_5 R_6$ передаточну функцію можна представити у вигляді:

$$U_{вих} = \frac{R_5}{R_4} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_3}{R_2} \right) (U_{вх2} - U_{вх1}). \quad (5)$$

Відмінною особливістю розглянутої схеми є повна незалежність регулювання коефіцієнта підсилення від виконання умови.

В якості операційних підсилювачів використані сучасні інструментальні підсилювачі виробництва Analog Devices.

Підсилений сигнал подається на модуль АЦП для подальшої обробки. Прилад працює в двох режимах з коефіцієнтом підсилення сигналу 1 та 2.

В якості АЦП використаний 10-ти розрядний модуль, який входить до складу мікроконтролера сімейства PIC (Peripheral Interface Controller) (рисунок 8).

Час перетворення АЦП для запропонованого контролера визначається за формулою:

$$T_{AD} = N \cdot T'_{AD} + (11 - n)(2T_{OSC}), \quad (6)$$

де T'_{AD} – час аналого-цифрового перетворювання на один біт (рекомендовано $1,6 \cdot 10^{-6}$); n – кількість розрядів АЦП; T_{OSC} – тривалість одного такту синхронізуючих імпульсів.

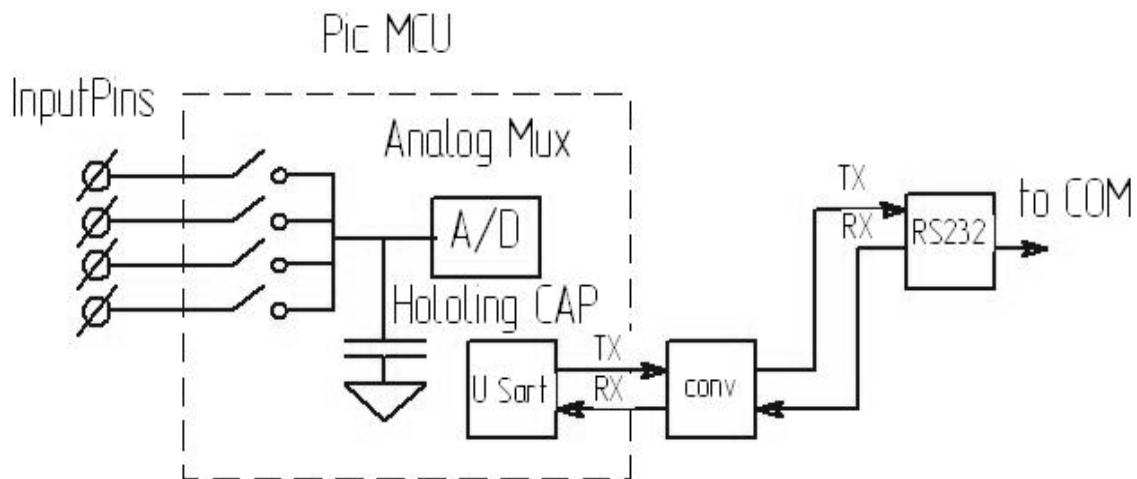
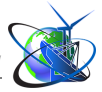


Рисунок 8 – Загальна схема пристрою для АЦП

Джерело: [3]

В середньому при частоті тактового генератора 20 МГц час перетворення по одному каналу складає $17,6 \cdot 10^{-6}$.

При цьому точність перетворення залежить від кроку квантування, який слід розрахувати за формулою:

$$\Delta_u = \frac{U_{REF}}{2^n}, \quad (7)$$

де U_{REF} – опорна напруга (5В);

$$\Delta_u = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 4.9mB$$

Інтерфейс RS232 має нетипові рівні напруг, тому для узгодження з рівнями інтерфейсу мікроконтролера необхідно використовувати перетворювач CONV (рисунок 8).

Цифровий сигнал подається на ПК для подальшої обробки за допомогою спеціально написаної програми, під назвою “Tenzo Cut” [4].

В результаті відбувається реєстрація сигналу в реальному часі та виведення його на екран у вигляді графіка (рисунок 9).

Програма дозволяє:

- одночасно реєструвати дані з двох груп датчиків (рисунок 9);
- приводити дані до загальної ординати зображення (рисунок 10);
- проводити тарування, тобто перехід від ординати зображення до сили, що діють на абразивний армований круг (рисунок 11).
- обробляти дані (знаходити середнє значення та середньоквадратичне відхилення на заданому проміжку) (рисунок 12);
- зберігати дані в файлі на будь-якому етапі реєстрації та обробки;
- зберігати дані у вигляді таблиці чисел для подальшої обробки іншими програмами аналізу табличних даних (наприклад, Origin або Microsoft Excel).

Розроблене високотехнологічне вимірювально – реєструюче обладнання дозволяє швидко і без повторювань з першочергових даних отримувати точні оцінки взаємодії високоабразивної цегли з абразивним армованим кругом та дає



можливість обробляти їх за допомогою сучасного програмного забезпечення, що позбавить від трудомісткого процесу обробки даних.

Швидкість подачі абразивного армованого круга в зону різання встановлювалась за допомогою підключення привідного електродвигуна через частотний перетворювач «Freson» FR150A, схема підключення якого зображена на рисунку 13 [5].

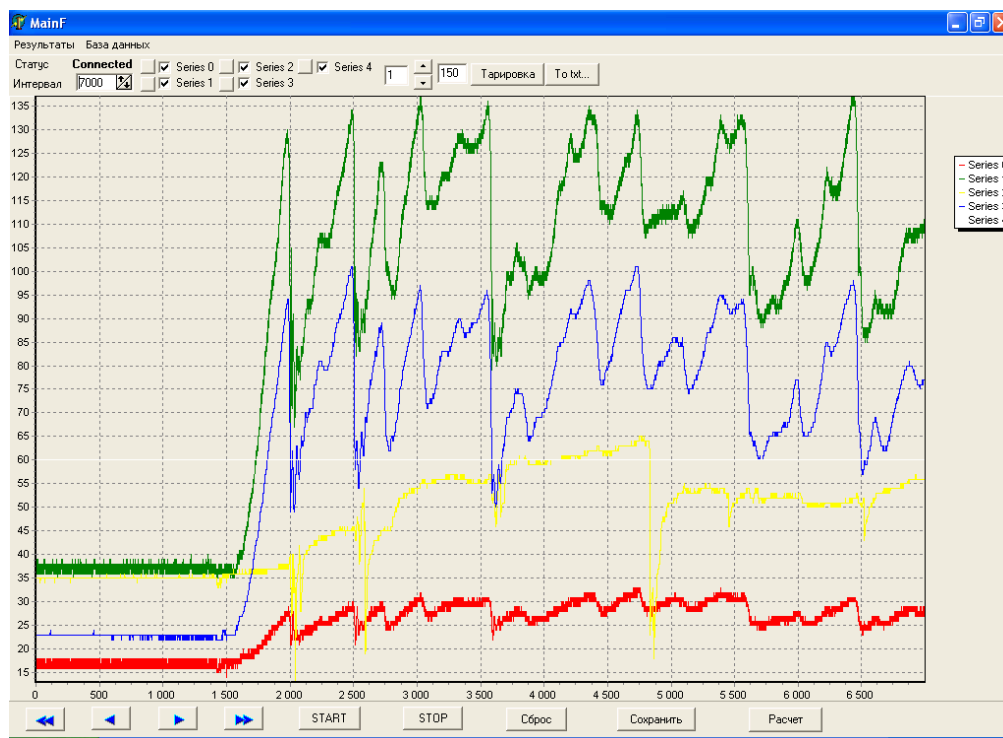


Рисунок 9 – Вигляд відтвореного сигналу на екрані

Джерело: [3]

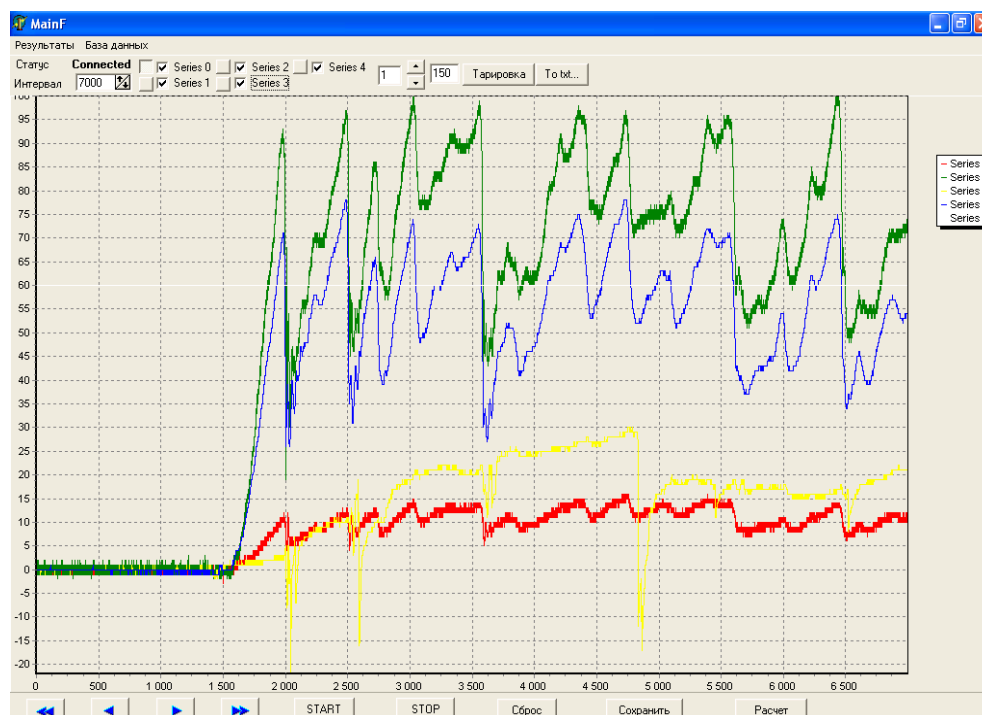


Рисунок 10 – Приведення даних до загальної ординати зображення

Джерело: [3]

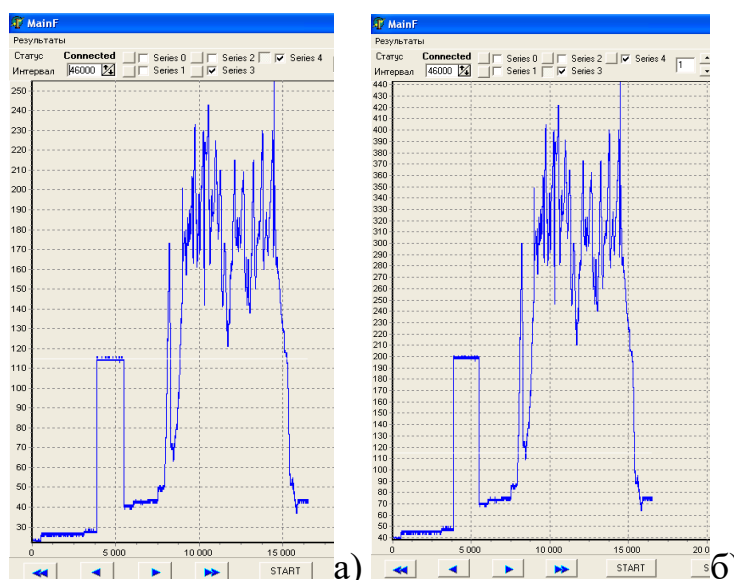


Рисунок 11 – Тарування а) до тарування, б) після тарування
Джерело: [3]

Розрахункові параметри		
	Середнє	Ср квадрат
Series 0	298,76718139	105,77115631
Series 1	148,48109436	56,751689910
Series 2	-77,272346496	128,64126586
Series 3	315,77423095	82,235198974
8000 14400 Розрах		

Рисунок 12 – Вікно «Розрахункові параметри» з результатами обчислень
Джерело: [3]

Швидкість подачі робочого органу в зону різання V_n , визначається залежністю:

$$V_n = \frac{n_d P_z}{60 \cdot u_{к.п.}}, \quad (8)$$

де $u_{к.п.}$ – передаточне відношення клинопасової передачі; n_d – частота обертання валу двигуна; P_z – крок гвинта гвинтової передачі.

Регулювання швидкості подачі виконувалось за допомогою зміни частоти струму двигуна f від якої залежить синхронна частота (частота обертання магнітного поля):

$$n_d = \frac{60f}{p}, \quad (9)$$



а частота обертання валу електродвигуна визначається наступним чином:

$$n_g = n_o \cdot k_k, \quad (10)$$

де k_k – ковзання електро двигуна [6].

Технічна характеристика електродвигуна представлена в таблиці 1.

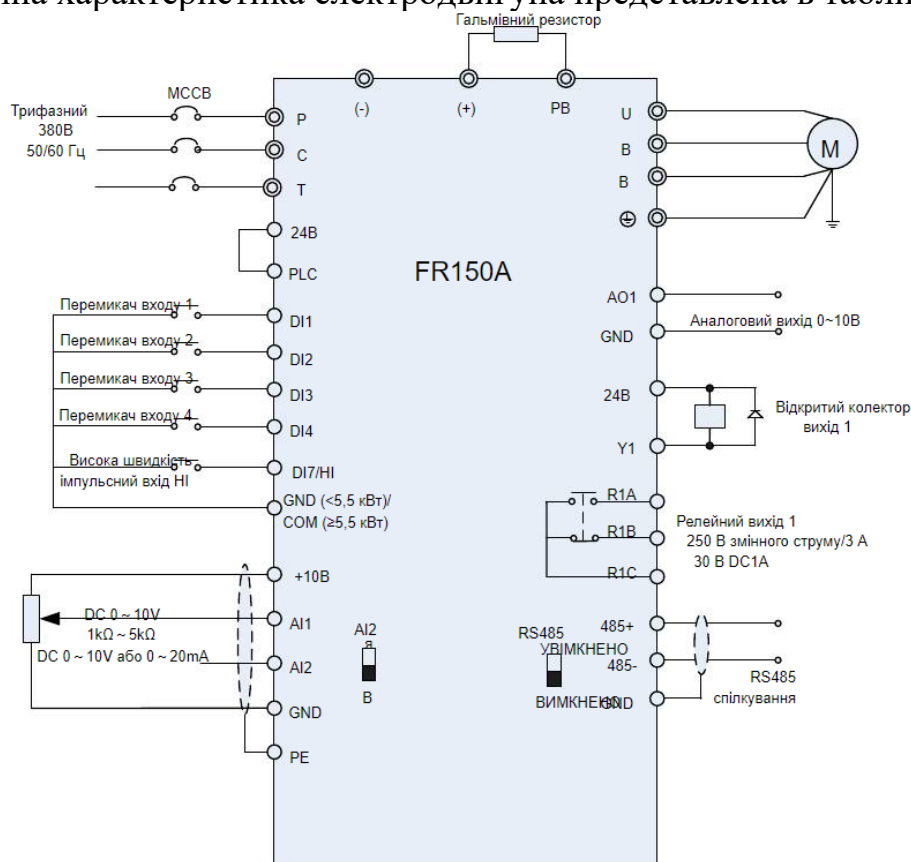


Рисунок 13 – Схема підключення трифазного інвертора 380 В

Джерело: [5]

Таблиця 1 – Технічна характеристика електродвигуна

Типо-розмір двигуна	Потужність, кВт	Ковзання %	Кількість пар полюсів	ККД, %	$\cos \phi$	$M_{\max}/M_{\text{ном}}$ H_m	$M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$ H_m	$M_{\min}/M_{\text{ном}}$ H_m	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$ А
4A100L6Y3	2,2	5,1	3	81	0,73	2.2	2	1,6	5,5

Джерело: [6]

Таким чином, задавши відповідну частоту струму за допомогою перетворювача частоти «Frecon» FR150A ми досягаємо необхідної швидкості подачі робочого органу в робочу зону.



Кількість обертів абразивного армованого круга встановлювалась за допомогою регулятора приводної машини, в якості якої використовувалась ручна кутошліфувальна машина (рисунок 14) [7]. Вимірювання кількості обертів виконувалось за допомогою цифрового фототахометра (рисунок 15) [8].



Рисунок 14 – Регулятор обертів на кутошліфувальній машині

Джерело: [7]



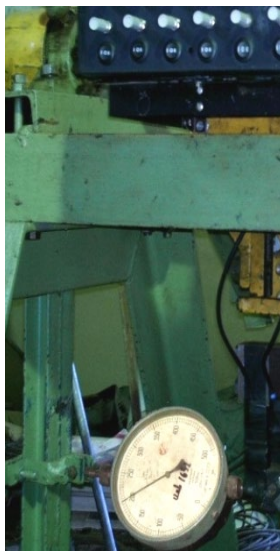
Рисунок 15 – Фототахометр

Джерело: [8]

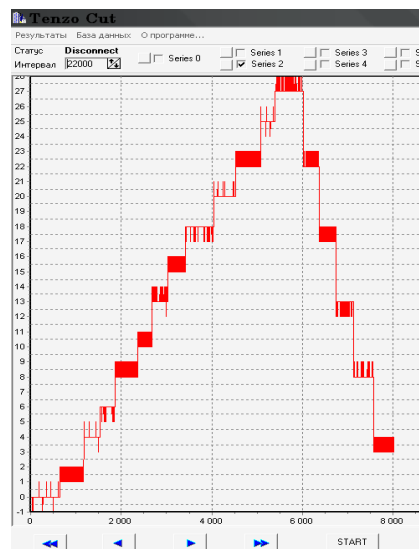
Тарування тензометричних балок перед проведенням дослідів (рисунок 16) проводилось механічним навантаженням в напрямку кожної із складових повної сили різання за допомогою динамометра.

Динамометр одним фіксатором закріплювався до механізму тарування, а іншим – до тензобалки. За допомогою механізму пересування проводилось навантаження та фіксація сигналу реєструючою апаратурою [3].

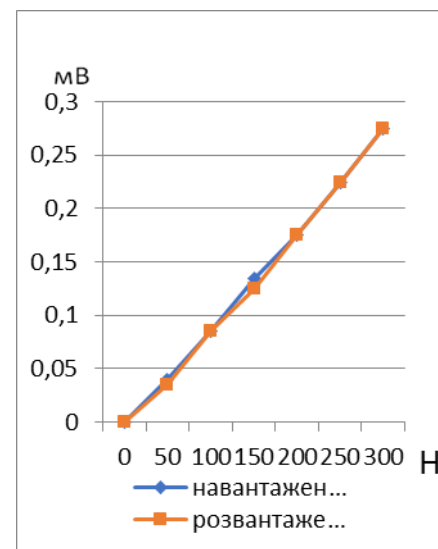
На рисунку 16, в зображений графік тарування тензобалок, де показано залежності величини сигналу від величини зусилля при навантаженні та розвантаженні.



а)



б)



в)

Рисунок 16 – Тарування тензометричних балок: а) покази динамометра на стенді; б) осцилограма; в) графік тарування.

Авторська розробка

Висновок:

Завдяки застосуванню запроектованим та розробленим: високоточній системі керування подачі робочого органу та високотехнологічному вимірювально-реєструючому обладнанню, яке дозволяє швидко і без повторювань з першочергових даних отримувати достатньо точні при відносному відхиленні $\Delta_x=0,1$ оцінки взаємодії високоабразивних матеріалів з абразивним армованим кругом та дало можливість обробляти їх за допомогою сучасного програмного забезпечення, що позбавило від трудомісткого процесу обробки даних. Це дало можливість мінімізувати число вимірів сили різання при заданій точності і надійності результатів дослід з вірогідністю отриманих даних від 0,90 до 0,95.

Література:

1. Смірнов В.М. Основи теорії різання ґрунтів просторово орієнтованими ножами робочих органів землерийних машин: Монографія. – К.: «МП Леся», 2009. – 260 с.
2. Пелевін Л.Є., Пристайло М.О., Пристайло Т.Ю. Стенд реєстрації зусиль різання. Патент України на корисну модель № 13846. Бюл. № 4, 17.04.06
3. Пелевін Л.Є., Пристайло М.О., Пристайло Т.Ю. Удосконалення реєстрації сил різання в лабораторних умовах. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Всеукраїнський міжвід. зб. наукових праць, – К.: КНУБА, 2005. – Вип. 65 – С. 58-62.
4. Пристайло Микола Олексійович. Обґрунтування раціональних параметрів розпушника-кайлувальника з пружно-деформованим виконавчим елементом [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / Пристайло Микола Олексійович ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. - Київ, 2014. - 20, [1] с. : рис. Ттх частотника



5. Вказівки по швидкому монтажу та введення в дію перетворювача частоти на 4 кВт FRECON - FR150-4T-4.0 В - Вхідна напруга: 3-ф 380V
Детальніше: <https://saeron.com.ua/ua/p1086136558-preobrazovatel-chastoty-kvt.html>

6. Яцун М.А. Електричні машини: навч. Посібник для студ. вищ. навч. закл. – Львів : видавн. Львівський національний Університет «Львівська політехніка», 2004. – 439с.

7. Інструкція з використання. Makita GA 9020 (2.2 кВт, Ø125мм) Кутова шліфувальна машина.

8. Інструкція з використання. Тахометр цифровий лазерний безконтактний dt-2234c+.

Abstract. *Introduction. Evaluation of the interaction of highly abrasive materials with an abrasive reinforced wheel was carried out on the basis of a one-factor experiment through the use of high-tech measuring and recording equipment, which made it possible to quickly obtain accurate results from priority data.*

Main text. The processing of oscillograms consisted in determining the average maximum ordinate of the cutting force P and finding its average value.

The torque stand for registration of the power load of the author's design of KNUBA has been modified to study the physical model of the process of cutting highly abrasive materials with an abrasive reinforced wheel. On the side surfaces of the load cell 1, strain gauges D1-D4 are glued, registering the tangent force acting on the abrasive reinforced circle P. On the horizontal tenso-beam 2 – strain gauges D5-D8, which record the normal force that acts during the cutting of refractory bricks on the abrasive reinforced circle N.

The cutting force through the design of the abrasive reinforced wheel is transmitted to the strain gauges whose deformations are transformed into a change in the resistance of the measuring elements, so imbalance appears in all bridge circuits.

The basis of the methods of measurement by resistance sensors is the strain gauge effect – a change in the electrical (that is, ohmic) resistance of the metal wire of the sensor during its elastic deformation.

Sensors are connected to a bridge circuit. In this case, four sensors are glued to each strain gauge (Figure 3), which simultaneously perform the functions of working and compensation sensors. Such a connection of sensors allows you to record only the voltage difference in the base section of the beam, closed between the sensors.

The set of measuring equipment includes: power supply; power cable; ADC module (analog-to-digital converter); shistic amplifier and microcontroller control unit; signal transmission cable (SCI – Serial Communication Interface); and a personal computer (hereinafter referred to as the PC).

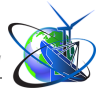
The program allows you to:

- simultaneously register data from two groups of sensors (Figure 9);*
- bring the data to the general ordinate of the image (Figure 10);*
- carry out taring, that is, the transition from the ordinates of the image to the forces acting on the abrasive reinforced circle (Figure 11).*

The feed rate of the abrasive reinforced wheel into the cutting zone was set by connecting the drive motor through the frequency converter "Frecon" FR150A,

The number of revolutions of the abrasive reinforced wheel was set using the regulator of the drive machine, which used a manual angle grinder. The measurement of the number of revolutions was performed using a digital phototachometer.

The packaging of strain gauge beams, before the experiments, was carried out by mechanical loading in the direction of each of the components of the total cutting force using a dynamometer.

**Conclusion:**

Thanks to the use of designed and developed: a high-precision control system for the supply of working organ and high-tech measuring and recording equipment, which allows you to quickly and without repetition from the priority data to obtain sufficiently accurate with a relative deviation $\Delta x = 0.1$ estimates of the interaction of highly abrasive materials with an abrasive reinforced wheel and made it possible to process them using modern software, which saved from the time-consuming process of data processing. This made it possible to minimize the number of measurements of the cutting force with a given accuracy and reliability of the results of the experiment with the probability of the obtained data from 0.90 to 0.95

Keywords: *experimental research, highly abrasive materials, abrasive reinforced wheel, measuring and recording equipment, probability of unevenness.*



УДК 65.9

SOME ISSUES OF PRACTICAL TRAINING OF MECHANICAL STUDENTS

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ-МЕХАНІКІВ

Kisietov J. V. / Кісєтов Ю.В.

с.т.с., ас.проф. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-5360-9376

National University of Shipbuilding, Mykolayiv, av. Geroyiv Ukraine, 9, 54007

Миколаїв, Національний університет кораблебудування, пр. Героїв України, 9, 54007

Abstract. The experience of implementing a modern approach to the professional and practical training of specialists at the level of higher education is analyzed. Examples of the use of the group work method in classroom practical classes of students specializing in "Management of ship technical systems and complexes" in specialty 271 "River and sea transport" for the first (bachelor) level of higher education are given.

Key words: educational process, intensification of training processes, training of ship mechanics, experience of organizing group work, technological stages of group work, an example of the implementation of a group task.

Introduction.

One of the innovative tasks of modern education is to achieve a qualitatively new level of mobility and professional and practical training of specialists, taking into account the need for effective adaptation of a person to life in the conditions of the modern media and information space. Currently, the main component of professional training of a specialist is the ability to critically analyze, synthesize, reproduce and competently use new information. In recent years, the issue of increasing the innovative component of modern education has gained considerable interest among scientists and practitioners who are related to the educational processes of education [1- 5 and others]. An essential component of the innovative modernization of modern education is the need to implement the latest methods in parallel with the existing ones. It is also quite difficult to assess the effectiveness of the proposed modernization in such conditions.

Basic text.

In the conditions of growing volumes of information from many fields of science, engineering and technology, putting forward high professional requirements for future ship mechanics, there is a need for constant intensification of the processes and methods of their training.

Learning as a creative process became the process of solving non-standard scientific and educational tasks using non-standard methods, methods of problem-based learning, the essence of which was the formation of problem situations in the educational process, identification and solving of problems by students, the solution of which will allow obtaining the necessary training for successful work in the future.

The peculiarity of maritime education is that it is regulated by national and mandatory normative documents of the International Maritime Organization. In particular, the training of maritime transport specialists in Ukraine must meet the requirements of the International Convention on Training, Certification of Seafarers and Watchkeeping PDNV-78/95 (STCW) and the PDNV Code with Manila



Amendments 2010 p. [6; 7].

The professional features of the processes of training and subsequent activities of ship mechanics are also a sufficiently large volume of the practical component of the educational complex. (For example, in the curriculum for the preparation of bachelor's level specialists, such a form of educational process as practice takes up to 25% of the total time). In addition, certain features of the study of some issues require a collective (group) solution through group discussions, role-playing games, acting out situations, using simulators, etc [5].

Peculiarities of organizing group work:

- division of the academic group into working groups (2-4 students);
- each group receives a certain task and performs it together under the direct supervision of the group leader;
- tasks in the group are distributed in such a way as to make it possible to take into account and evaluate the individual contribution of everyone;
- the composition of the group is not constant (it is selected depending on the content and nature of the expected work, taking into account the fact that the educational opportunities of each member of the group can be effectively realized).

Technological stages of group work in class:

The first stage is preparation for the group task:

- statement of the problem (problem situation) and its goal;
- division of the task into separate components;
- formulating tasks for groups;

The second stage is group work:

- familiarization with the material, planning work in a group;
- distribution of tasks among group members;
- individual performance of tasks;
- discussion of individual results of work in the group;
- discussion of the general task of the group (remarks, additions, clarifications, generalizations);
- registration of group results of a common task;

The third stage is the concluding part:

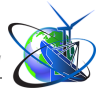
- notification of the results of the groups' work;
- summarizing the performance of group tasks;
- general analysis of the cognitive task;
- a conclusion about group work and achievement of the set goal (commenting by the teacher on the work of the group).



During group work, the teacher monitors the progress of work in groups, answers questions, regulates conflicting situations and work order, and provides assistance to individual students or groups in case of extreme need.

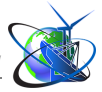
Below is a fragment of the implementation of a group task on the example of the task of assessing the condition of cylinders and pistons of a low-speed engine during operation. The task plan and solution were formed on the basis of the instructions of the engine builder MITSUI-MAN B&W ME(ME-B) ENGINES (Table 1) [7].




**Table 1. A sample of task performance results**

TASK, PERFORMER	DECISION
Task for group 1 - "Condition of the cylinder. General Information." Performer: student A1, A2	General to obtain and maintain a good cylinder condition involves the control of many factors. Since most of these factors can change during the service period - and can be influenced by service parameters within the control of the engine room staff - it is of great importance that running conditions and changes are followed as closely as possible. By means of continual monitoring, it is normally possible to discover abnormalities quickly and thereby, take countermeasures at an early stage. In particular, it is advisable to regularly check the cylinder condition by means of inspection through the scavenge ports from the scavenge air receiver and via the small covers on the manoeuvring side as well - especially concentrating on the piston ring condition.
Task for group 2 - "Condition of the cylinder. Function of piston rings" Performer - students B1, B2	The function of the piston ring is to give a gas-tight sealing of the clearance between the piston and cylinder liner. This seal is brought about by the gas pressure above and behind the piston ring, which forces it downwards, against the bottom of the ring groove, and outwards against the cylinder wall. In order to ensure optimum sealing, it is therefore important that the piston rings, the grooves, and the cylinder walls, are of proper shape, and that the rings can move freely in the grooves (since the piston will also make small horizontal movements during the stroke). The lubrication of the piston rings influences the sealing as well as the wear and deposits. Experience has shown that unsatisfactory piston ring function is one of the main factors contributing to poor cylinder condition. For this reason, regular scavenge port observations should be carried out as a means of judging the piston ring condition.
Task for group 3 - "The state of the cylinder. Inspection of the blow hole" Performer: students C1, C2	General Regarding intervals between scavenge port inspection, see the instruction book "MAINTENANCE", Chapter 900, "Checking and Maintenance Program". The scavenge port inspection provides useful information about the condition of cylinders, pistons, piston skirts, piston rods and piston rings. The inspection consists of visually examining the piston, piston skirts, piston rods, piston rings and the lower part of the cylinder liner directly through the scavenge air ports, and measurements of the ring clearance, the CL grooves and, if possible, the thickness of piston ring coating. To reduce the risk of scavenging box fire, remove any oil sludge and carbon deposits in the scavenge air box and receiver in connection with the inspection. With the relevant pumps running an evaluation can be made of the fuel valve sealing tightness, piston tightness for lub oil and the cylinder cover's sealing tightness for cooling water.



<p>Task for group 4 - "Purge air receiver inspection procedure" Performer: students D1, D2, D3</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Scavenge port inspections are best carried out by two persons. The more experienced person inspects the surfaces and states the observations to an assistant, who records them and later enters them in engine builder standard forms. 2) Keep the cooling water, fuel oil and cooling oil circulating, so that possible leakages can be detected. 3) Block the starting air supply to the main starting valve. Open the indicator valves. Engage the turning gear. 4) Remove the inspection covers on the manoeuvre side of the cylinder frame, and clean the openings. Open the access cover(s) to the scavenge air receiver and then enter the scavenge air receiver.
<p>Task for group 5 - "Safety technique of the process of inspection of the purge air receiver" Performer: students E1, E2, E3</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Do not enter the scavenge air receiver before it has been thoroughly ventilated. 2) The access cover to the scavenge air receiver must be locked and secured in open position during inspection to prevent it from closing by accident. 3) Take care when moving around in the receiver and bring proper lighting. Pockets for thermometers are placed in head level. Wear head protector (helmet etc.). 4) Remember to take breaks to replenish fluid lost from sweating, especially in hot climates. Bring in bottles with drinking water for consumption in the scavenge air receiver. 5) When turning is carried out, prepare to be able to stop it in any case. Always bring the turning gear switch into the scavenge air receiver during inspection.
<p>Task for group 6 - "Assessment of the condition of the purge air receiver" Performer: students K1, K2, K3</p>	<p>Check and note the condition of the scavenge receiver:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) No Sludge. Note that water from defect water mist catcher could cause a very clean scavenge air receiver;  <ol style="list-style-type: none"> 2) Normal picture. Indicates good cylinder condition; 



	<p>3) Much Sludge. Remove any oil sludge and carbon deposits in scavenge receiver.</p> 
<p>Task for group 7 - "Checking for leaks in the purge air receiver" Performer: students M1, M2, M3</p>	<p>Check the piston crown top for any leakages (remember to keep cooling water, fuel oil and lubricating oil circulating during the inspection).</p> <p>1) If oil is found on the piston, determine if it is fuel oil or lube oil. Fuel oil will be black and sticky, indicating a fuel valve is leaking. Lube oil will be brown and non-sticky, indicating it could be from an exhaust valve.</p>  <p>2) Water on a piston indicates a cooling system leak. If water is found, it is important to determine what the cause is. Use either a mirror or photo, to establish if the leak is from the cylinder cover, exhaust valve or a cracked liner.</p> 

Conclusion.

Learning as a creative process requires the solution of scientific and educational tasks using the methods of problem-based learning, the essence of which consists in the formation of problem situations in the educational process, the identification and solving of problems by students, the solution of which will allow obtaining the necessary training for successful work in the future. The given information can be used as an aid in the development of educational and methodical documents (curriculums, manuals, methodological instructions, etc.) to ensure the process of training ship mechanics. Also, this approach makes it possible to develop similar information justifications for other specializations of the system of education of future sailors.



Література:

1. Дубасенюк О.А. Інноваційні освітні технології та методики в системі професійно-педагогічної підготовки // Професійна педагогічна освіта: інноваційні технології та методики: Монографія / За ред. О. А. Дубасенюк. – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2009. – с. 14-47.
2. Кісетов Ю. В. Практика впровадження методів проблемного навчання інженерів-механіків. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції. — Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2022. – с.178-179
3. Кісетов Ю., В., Кукліна О. Ю. , Слободян С. О. Інноваційні освітні технології як засіб підвищення професійної компетентності суднових механіків. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2019. – с.291-297.
4. Kisietov J., Kuklina O. Features of the information-management system for the preparation of bachelors in marine education Theory, practice and science. Abstracts of XXIII International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan. April 27-30, 2021. Pp. 400-405. Available at: DOI - 10.46299/ISG.2021.I.XXIII.
5. Мариновська О. Науково-методичний супровід освітніх інновацій / О. Мариновська // Освітні інновації та передовий педагогічний досвід в закладах освіти Івано-Франківської області: наук.-метод. зб. / упоряд. : З. Болюк, Р. Зуб'як, О. Мариновська та ін. ; за заг. ред. Болюк З., Мариновської О., Зуб'яка Р. – Івано-Франківськ : ОПППО, 2007. – с. 84–125.
6. Манільські поправки до Кодексу з підготовки та дипломування моряків та несення вахти (ПДНВ) 25.06.2010 р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://SEARCH.LIGAZAKON.UA/L_DOC2.NSF/LINK1/MU10242.HTML
7. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Sea farers as amended, including the 1995 and 2010 Manila Amendments. STCW Convention and STCW Code. 2011 edition. Language(s): ENG, FRE, SPA, RUS, CHI, ARA (IMO-IC938).
8. MITSUI-MAN B&W ME (ME-B) Engines Instruction Book. Volume 1. Operation and Data — <https://www.academia.edu/40324863/>, last accessed 2023/01/23.

Анотація. Сучасний освітній процес з використанням методів проблемного навчання дозволяє отримати необхідну підготовку для успішної праці спеціалістів в майбутньому. В роботі проаналізовано досвід впровадження сучасного підходу до професійно-практичної підготовки фахівців рівня вищої освіти шляхом організації групової роботи. Наведено приклади використання метода групової роботи на аудиторних практичних заняттях студентів спеціалізації «Управління судновими технічними системами і комплексами» за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Ключові слова: освітній процес, інтенсифікація процесів навчання, методи проблемного навчання, підготовки суднових механіків, досвід організації групової роботи, технологічні етапи групової роботи, приклад реалізації групового завдання.



УДК 621.787

RESTORATION OF WORN PARTS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT BY PLASTIC DEFORMATION**ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ****Ivankova O.V. / Іванкова О. В.***s. t. s. as. prof / к. т. н., доц.*

ORCID ID (0000-0003-1825-0262)

ResearcherID (Q-6470-2016)

Bartosh V. Yu. / Бартош В. Ю.*Automotor company, 12, Komarova str., Poltava, 36008, Ukraine**Автомоторна компанія, м. Полтава, вул. Комарова, 12, 36008***Obshchyy YA. O. / Общій Я. О.***Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36000, Ukraine**Полтавський державний аграрний університет, Полтава, в. Сковороди 1/3, 36003***Kisil Yu.Yu. / Кисіль Ю.Ю.***Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36000, Ukraine**Полтавський державний аграрний університет, Полтава, в. Сковороди 1/3, 36003*

Анотація. Підвищення надійності сільськогосподарської техніки зараз є надзвичайно важливою задачею.

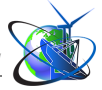
Сучасний розвиток ремонтного виробництва, як галузі технічного сервісу вимагає впровадження процесів ремонту деталей для підвищення надійності та довговічності сільськогосподарської техніки. У статті приведено огляд сучасних способів зміцнення зношених поверхонь деталей. Дослідження по з'ясуванню ролі поверхневого шару деталей при відновленні їх геометричних параметрів виявляються актуальними. Проведені дослідження по визначенню ступеню зміцнення поверхневого шару відновлених деталей і рівня його твердості та структури поверхневої зони після обробки.

Результати свідчать про, що вібраційне пластичне деформування забезпечує значний ступінь зміцнення та високі механічні властивості поверхневих шарів деталей. А це, в свою чергу, сприятиме підвищенню довговічності машин. Отже, технологічні можливості пластичного вібраційного деформування доволі широкі, і потребують проведення додаткових досліджень.

Ключові слова: відновлення, вібрації, пластична деформація, ступінь поверхневого зміцнення, поверхневий шар, довговічність.

Підвищення надійності сільськогосподарської техніки зараз є надзвичайно важливою задачею.

Тривалість експлуатації сільськогосподарської техніки до капітального ремонту у значній мірі залежить від зносостійкості її деталей та вузлів. Через низьку довговічність деталей постійно існує необхідність у ремонтах, що веде до високих витрат запасних частин та підвищує вартість робіт по технічному сервісу. Під час експлуатації сільськогосподарських машин та механізмів спрацьовуються їх деталі. Поверхня таких деталей зазнає різноманітних впливів: механічної дії, теплових впливів, дій зовнішнього середовища, яке нерідко є агресивним. Під дією цих факторів змінюється мікроструктура поверхні деталей, з'являються внутрішні напруження, що може призвести до утворення мікротріщин на поверхні, поверхня знеміцнюється, можуть додаватися прояви корозії. Від впливу сукупності усіх цих факторів



починається руйнування поверхні деталі [1, 2]. Наше завдання полягає у зниженні, або усуненні дії перелічених факторів. Це дасть нам можливість підвищити зносостійкість, корозійну та втомну міцність деталей. І, як результат, можливість підвищити довговічність сільськогосподарської техніки.

Мета досліджень. Метою наших досліджень є підвищення довговічності деталей сільськогосподарської техніки за рахунок застосування при їх відновленні пластичного деформування як зміцнюючої технології.

У літературних джерелах є дані про вивчення параметрів процесів відновлення із застосуванням пластичного деформування. Вивченням питань створення певних механічних властивостей відновлених деталей займалися такі науковці: Єрмолов Л.С., Анілович В.Я., Скобло Т.С., Науменко О.А., Молодик М.В. та інші. Їх дослідження дозволили сформулювати технологічні основи обробки деталей для одержання заданих властивостей їх поверхонь.

Також у літературі є ряд досліджень по обґрунтуванню вимог до поверхневого, зміцненого шару деталей [2,3,7]. У них доводиться необхідність досягнення такого рівня залишкових напружень по глибині та твердості поверхневого шару металу, які б максимально відповідали експлуатаційним вимогам.

Результати досліджень. Для досягнення мети потрібно вирішити наступні **задачі**: вибрати основні параметри процесу пластичного деформування відновлюваних деталей; вивчити вплив конструктивних і технологічних параметрів інструментів на показники якості поверхні.

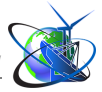
Сучасне виробництво має широкі можливості по керуванню рівнем довговічності деталей машин на усіх стадія їх життєвого циклу: проектування, виготовлення, експлуатації та ремонту. Одним із результативних є зміцнення поверхні методами зміни структури поверхневого та приповерхневого шарів. Це, насамперед: механічна, фізико-термічна, електрофізична обробки, а також наплавка чи напилення легованим металом [5].

Зміцнення поверхні деталей машин є одним із шляхів підвищення довговічності сільськогосподарської техніки, що сприяють отриманню заданих властивостей поверхонь. Застосування методів зміцнення поверхонь деталей дає можливість оптимізувати параметри поверхневих шарів, а саме: мікротвердість, шорсткість [2,7] та залишкові напруження.

Найбільш ефективним способом зміцнення поверхневих шарів деталей є спосіб поверхневого пластичного деформування (ППД). Використання цього способу дозволяє отримати поверхневий зміцнений шар із підвищеними показниками якості.

У літературних джерелах, переважно, описуються технології зміцнення певних деталей при їх виготовленні. Про використання пластичного деформування з вібрацією в ремонтному виробництві даних недостатньо, що вимагає самостійних досліджень [7].

На наш погляд, одним з найефективніших способів збільшення довговічності деталей машин є пластичне деформування. Застосування пластичного деформування дозволяє отримати зміцнення поверхневого шару деталі з підвищеними показниками якості.



Але, прикладів використання пластичного деформування у процесі відновлення зношених деталей машин недостатньо. Тому, робимо висновок про необхідність проведення ґрунтовних додаткових досліджень пластичного деформування як метода відновлення деталей.

Протягом досить тривалого часу на кафедрі агроінженерії та автомобільного транспорту Полтавського державного аграрного університету ведуться роботи по вивченню пластичного деформування при відновленні зношених деталей сільськогосподарської техніки з метою підвищення післяремонтного ресурсу машин. Співробітниками кафедри виконуються дослідження впливу вібрації на процес пластичного деформування деталей.

Зараз вивчення впливу параметрів обробки на якість відновлення проводяться спочатку на зразках, а після – деталях, а саме, на деталях двигунів та інших агрегатів.

Деформування здійснюється на експериментальній установці для вібраційного деформування деталей. [6]. Коротка схема процесу дії експериментальної установки: у матрицю експериментальної установки встановлюється деталь (або експериментальний зразок) та закріплюється кришкою матриці. Гідросистема установки, яка складається з гідроциліндрів, опускає плиту із закріпленням на ній вібратором. Робочий інструмент – пуансон, встановлений у патроні, опускається разом із плитою та прошиває втулку. Манометр фіксує зусилля [3,7]. Деформування здійснювалося пуансонами (рисунок 1) з інструментальної сталі У8 (з термообробкою) твердістю робочої поверхні 62...65 HRC [6, 7]. Кути нахилу твірної конуса пуансона β складали: 10° , 11° , 12° . Мастилом було М-10Г2 з додаванням 1% ПАФ – 4.

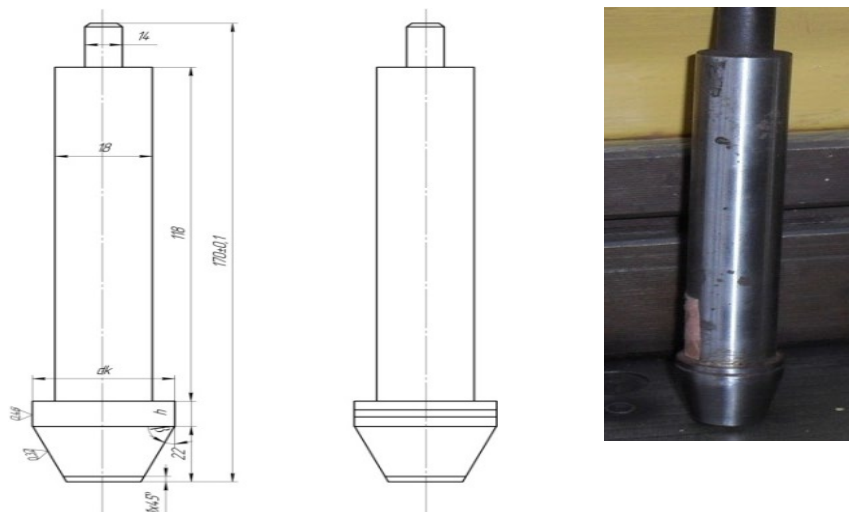


Рисунок 1 - Пуансони для проведення деформування

Авторська розробка

При формуванні рельєфу поверхні оброблюваної деталі вібраційне напруження має інтенсифікуючий вплив.

По результатах виконаних експериментів була виконана математична обробка отриманих параметрів технологічного процесу та отримані емпіричні залежності зусилля деформації від припуску обробки (II), кута нахилу твірної



пуансона ($tg \beta$), коефіцієнта деформації по зовнішньому діаметру деталі (K_L) для процесів деформування без вібрації та з вібрацією відповідно (таблиця 1).

Таблиця 1 - Емпіричні залежності зусилля деформування деталей

Деталь	Зусилля деформування	
	без вібрації	з вібрацією
Поршневі пальці СМД-60(62)	$P = K_L [1882(0.4 + tg\beta)P + 52.2]$	$P = K_L [404(0.4 + tg\beta)P + 46.6]$
Поршневі пальці ЗМЗ-405 (406)	$P = K_L [91(0.4 + tg\beta)P + 54.9]$	$P = K_L [124(0.4 + tg\beta)P + 21.2]$
Поршневі пальці КамАЗ	$P = K_L [1078(0.4 + tg\beta)P + 68.2]$	$P = K_L [417(0.4 + tg\beta)P + 108.5]$
Втулки ролика картоплекопачів КТН-2В	$P = K_L [18.94(0.4 + tg\beta)P + 4.002]$	$P = K_L [70.83(0.4 + tg\beta)P + 3.41]$
Втулки рідинних насосів	$P = K_L [(0.7 + tg\beta)P + 52.2]$	$P = K_L [(0.4 + tg\beta)P + 42]$
Втулки натяжних пристроїв гноєрозкидачів ПТР-10	$P = K_L [8.4(1.1 + tg\beta)P + 12.26]$	$P = K_L [45.74(1.1 + tg\beta)P + 7.99]$

Авторська розробка

Одним із значимих показників ефективності дії вібрацій при деформуванні можемо назвати ступінь зміцнення матеріалу. Отже, необхідно досліджувати цей показник.

Ступінь зміцнення матеріалу деталі при обробці можна охарактеризувати зміною величини твердості (HV), або мікротвердості (H_μ) у залежності від глибини (h).

Зміна мікротвердості ΔH_μ [7] визначається за формулою:

$$\Delta H_\mu = \frac{H_\mu - H_{\mu n}}{H_{\mu n}}, \quad (1)$$

де H_μ – мікротвердість поверхні деталі після обробки;

$H_{\mu n}$ – початкова мікротвердість поверхні (до обробки).

На характер зміни мікротвердості поверхневого шару після обробкою поверхні пластичним деформуванням першочерговий вплив мають властивості матеріалу деталі та параметри режиму обробки.

Характер зміни твердості деформованого шару після поверхневого пластичного деформування насамперед залежить від властивостей матеріалу деталі та режимів обробки.

У таблиці 2 наводимо деякі результати розрахунків значень ступеню зміцнення.

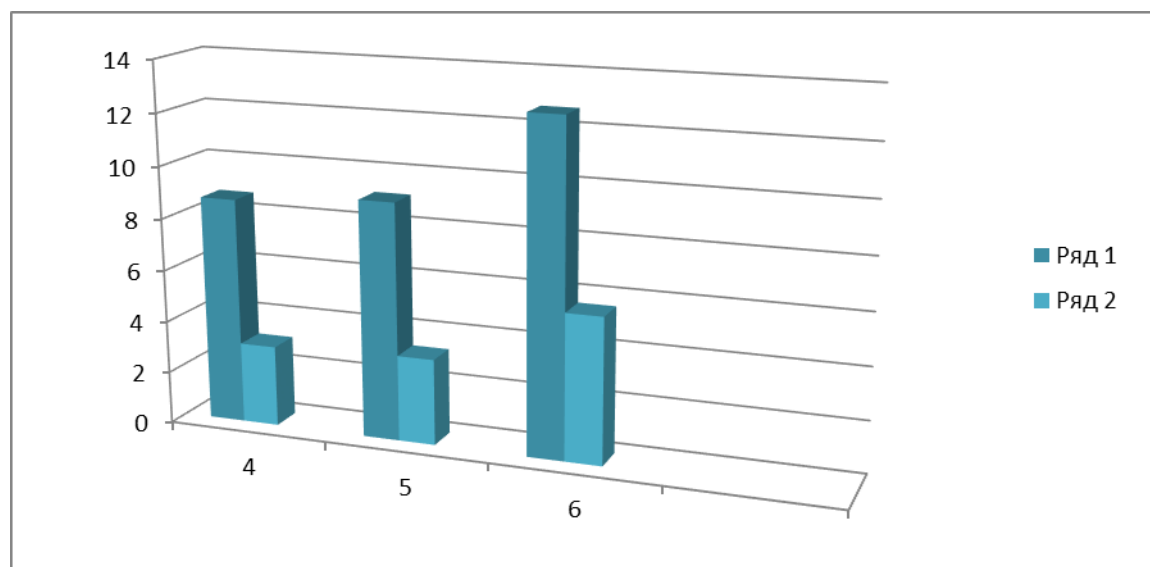
По даних наших досліджень, також висвітлених і у попередніх публікаціях [3, 7], ступінь зміцнення поверхневого шару дослідних зразків (ст. 3), яку дає вібраційне деформування з припуском на обробку 0,6мм у 1,9 рази перевищує аналогічні показники при деформуванні без вібрації. А ступінь зміцнення бронзових зразків-втулок у 1,5 рази вище у порівнянні із втулками, деформованими без вібрації при аналогічних режимах.



Таблиця 2 - Розрахункові значення ступеню зміцнення експериментальних зразків

Матеріал	Припуск на обробку, мм	Ступінь зміцнення	
		Без вібрації	З вібрацією
Сталь 45	0,2	0,012	0,017
	0,4	0,022	0,028
	0,6	0,028	0,034
Бронза Бр ОЦС555	0,2	0,021	0,035
	0,4	0,037	0,048
	0,6	0,041	0,063

Джерело: [7]



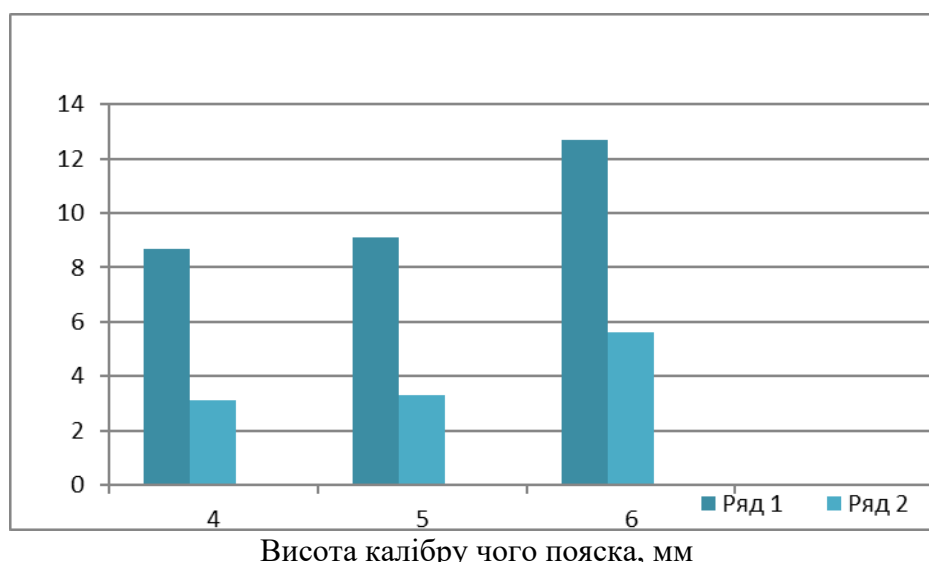
Ряд 1 - деформація без вібрації; ряд 2 - деформація з вібрацією

Рисунок 1 - Діаграма зміни ступеню зміцнення експериментальних зразків

Авторська розробка

Дослідженнями було встановлено, що при аналогічних параметрах режимів деформування дослідних деталей, глибина деформованого шару після деформування без вібраційного навантаження склала 550 мкм, а з вібраційним навантаженням – 820 мкм. А це 1.5 рази вище.

Нами також досліджувався вплив деформації на чистоту обробки поверхні деталей. Виявлено, що на шорсткість обробленої поверхні має вплив зусилля та швидкість деформування, кута твірної конуса пуансона та припуску на обробку. На рисунку 2 показана залежність шорсткості обробленої поверхні від параметрів пуансона.



Ряд 1 - деформація без вібрації; ряд 2 - деформація з вібрацією

Рисунок 2 - Залежність шорсткості поверхні залежно параметрів пуансону

Авторська розробка

Висновки.

Були розглянуті:

- методи зміцнення поверхонь деталей при їх відновленні;
- основні параметри процесу пластичного деформування деталей;
- вплив конструктивних і технологічних параметрів інструментів на показники якості поверхні

Були отримані:

- ✓ висновок про ефективність зміцнення поверхневих шарів деталей вібраційного деформування;
- ✓ емпіричні залежності зусилля деформації від припуску обробки, кута нахилу твірної пуансона, коефіцієнта деформації по зовнішньому діаметру деталі;
- ✓ виявлені технологічні параметри, що мають вплив на формування характеристик обробленої поверхні і визначають її якість: ступінь зміцнення поверхневого шару матеріалу, чистоту обробки поверхні.

Отже, поверхнєве пластичне деформування деталей при відновленні деталей машин, дозволить підвищити характеристики міцності поверхневого шару, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню надійності машин в експлуатації.

Література:

1. Надійність машин в завданнях та прикладах [Анілович В. Я., Грінченко О.С., Литвиненко В. Л.] та ін.; за ред. В. Я. Аніловича - Харків: Око, 2001. - 320с.
2. Substantiation of parameters for the technological process of restoring machine parts by the method of plastic deformation / A. A. Dudnikov, V. V. Dudnik, O. V. Ivankova, O. A. Burlaka. // Eastern-European journal of enterprisetchnologies. – 2019. – С. 75–80. DOI:<https://doi.org/10.15587/1729->



4061.2019.156779.

3. Effect of vibration treatment on increasing the durability of tillage equipment working bodies / Anatolii Dudnikov, Olena Ivankova, Oleksandr Gorbenko, Anton Kelemesh // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2/1 (110) 2021 – С. 104-108. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228606

4. Дослідження застосування технології поверхневого деформування при відновленні зношених деталей сільськогосподарської техніки / О. В. Іванкова, І. А. Велит, В. Ю. Бартош, Я. О. Обчий. // Журнал Modern scientific researches. Випуск 15, том 1. – 2021 - С. 29-33. DOI: 10.30889/2523-4692.2021-15-01-043

5. Дослідження методів відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки. / О. В. Іванкова, О. В. Гаращук, В. І. Куценко, В. В. Щербина, Д. В. Чижевський, Я. В. Бабич, М. О. Тіхонов. // Вісник ПДАА. 2020. № 4. С. 283–292. doi: 10.31210/visnyk 2020.04.36

6. Іванкова О. В. Патент на корисну модель № 59687. «Спосіб відновлення та зміцнення сталених втулок». 25.05.2011. Бюл. 310. МПК 2011.01 C21D 1/06 (2006.01) B23P6/00.

7. Дудніков А. А., Дудник В. В., Біловод О. І., Іванкова О. В., Лапенко Т. Г. Зміцнення матеріалу деталей пластичним деформуванням. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки». Луцьк. - 2019. Випуск 66. - С. 95-97

8. Іванкова О. В., Бартош В. Ю. Дослідження впливу зміцнюючих технологій відновлення деталей на ресурс машин. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків. РВВ ХНТУСГ - 2019 - Вип. 199. С. 54–61.

Abstract. Increasing the reliability of agricultural machinery is now an extremely important task. Modern development of repair production as a field of technical service requires the implementation of part repair processes to improve reliability and durability of agricultural machinery. The article provides an overview of modern methods of strengthening worn surfaces of parts. Research on clarifying the role of the surface layer of parts in the restoration of their geometric parameters is relevant. Studies were conducted to determine the degree of strengthening of the surface layer of restored parts and the level of its hardness and the structure of the surface zone after processing.

The results show that vibrational plastic deformation provides a significant degree of strengthening and high mechanical properties of the surface layers of parts. And this, in turn, will contribute to increasing the durability of machines. Therefore, the technological possibilities of plastic vibration deformation are quite wide and require additional research.

Key words: recovery, vibrations, plastic deformation, degree of surface hardening, surface layer, durability.

Стаття відправлена: 20.02.2023 р.

© Іванкова О. В.



УДК 531.383

**FILTERING OF THE OUTPUT SIGNAL OF THE TWO-CHANNEL
TRANSFORMER GRAVIMETER****ФІЛЬТРАЦІЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ДВОКАНАЛЬНОГО
ТРАНСФОРМАТОРНОГО ГРАВІМЕТРА****Bezvesilna O.M. / Безвесільна О.М.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-6951-1242

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Peremogy Avenue, 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського", Київ, проспект Перемоги, 37, 03056***Kyrychuk Y.V. / Киричук Ю.В.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-8638-6060

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Peremogy Avenue, 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського", Київ, проспект Перемоги, 37, 03056***Hrynevych M.S. / Гриневич М.С.***assistant / асистент*

ORCID: 0000-0001-9183-5211

*State University "Zhytomyr Polytechnic", Zhytomyr, Chudnivska street, 103, 10005**Державний університет «Житомирська політехніка»,**м. Житомир, Чуднівська, 103, 10005***Tolochko T.O. / Толочко Т.О.***senior lecturer / старший викладач*

ORCID: 0000-0002-2346-0419

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Peremogy Avenue, 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського", Київ, проспект Перемоги, 37, 03056*

Анотація. Стаття присвячена дослідженням фільтрації вихідного сигналу авіаційної гравіметричної системи із двоканальним трансформаторним гравіметром. Розроблено методіку фільтрації, що дозволяє відокремлювати сигнал аномалії прискорення сили тяжіння двоканального трансформаторного гравіметра від найбільшої перешкоди сигналу вертикального прискорення літального апарату з метою підвищення точності гравіметра у складі авіаційної гравіметричної системи шляхом вибору власної частоти коливань двоканального трансформаторного гравіметра $0,1 \text{ c}^{-1}$ у точці перетину графіків спектральних щільностей корисного сигналу гравітаційної аномалії та основної завади вертикального прискорення.

Ключові слова: двоканальний трансформаторний гравіметр, авіаційна гравіметрична система, гравітаційна аномалія, вертикальне прискорення.

Вступ.

Авіаційна гравіметрична система (АГС) дозволяє здобути гравіметричну інформацію у важкодоступних районах земної кулі набагато швидше та з меншими витратами, ніж за допомогою наземних або морських гравіметричних засобів. Результат вимірювань, отриманий за допомогою авіаційної



гравіметричної системи містить як корисний сигнал аномалії прискорення сили тяжіння (ПСТ), так і сигнал вертикального прискорення – найбільшої перешкоди, що значно впливає на точність вимірювання АГС.

Результат вимірювань, отриманий за допомогою відомих гравіметрів [1-8], містить на порядок більші похибки вимірювань. Інерціальне абсолютне прискорення зумовлене, в основному, вертикальним прискоренням літального апарату (ЛА), на якому встановлено гравіметр. Величина завади може бути значно більшою, ніж величина корисної складової результатів вимірювань. Поступальні і кутові вібрації ЛА також можуть призвести до істотних похибок результатів вимірювань. Фільтрація похибок від вказаних збурень відбувалась в АГС з відовими гравіметрами на Землі протягом місяців часу. Використовувались додаткові фільтри, що зменшувало надійність АГС з відовими гравіметрами.

Таким чином, суттєвим недоліком АГС з відовими гравіметрами є недостатня точність вимірювань.

Аналіз літературних джерел. У роботі [4] Безвесільної О.М. досліджено можливість і доцільність використання, як гравіметра АГС, гіроскопічного вимірювача прискорень. Похибка вимірювання D_g АГС на базі гірогравіметра була [4] 8 мГал. У роботах Безвесільної О.М. і Литвиненка П.Л. обґрунтовано доцільність використання як гравіметра АГС однокільцевого динамічно настроюваного гіроскопа (ДНГ), похибка вимірювання D_g АГС була 5 мГал. Точність АГС з п'єзогравіметром [9], струнним [10], та ємнісним [11], гравіметрами також недостатня для сучасних авіаційних гравіметричних вимірювань: 2- 3 мГал. Вказані відомі гравіметри АГС мають свої переваги та недоліки [9-11]. Гіроскопічні гравіметри – дуже коштовні та недостатньо чутливі, п'єзогравіметри – занадто інерційні, струнні – схильні до резонансів, ємнісні – мають нестабільні характеристики. Фільтрація похибок від дії збурень цих гравіметрів недосконала.

Сьогодні одним із найбільш перспективних вважається двоканальний трансформаторний гравіметр [12], який має наступні переваги перед відовими гравіметрами: потужний вихідний сигнал, лінійну вихідну характеристику та ін. Однак, залишкові похибки від впливу вертикального прискорення \ddot{h} ЛА (у 10^3 раз перевищують корисний сигнал) будуть мати місце.

Мета статті – збільшити точність вимірювано ДТГ АГС шляхом вирішення задачі фільтрації шляхом компенсації впливу вертикального прискорення.

Матеріал і результати дослідження.

На рисунку 1 представлено конструкцію двоканального трансформаторного гравіметра. Викладемо принцип його роботи.

Чутливий елемент ДТГ складається із магнітопроводу 1, рухомого якоря 2, первинної обмотки 3 збудження та вторинної вихідної обмотки 4, яка має дві однакові секції. Рухомий якорь 2 з'єднано з двигуном 5, який щосекунди послідовно опускає якорь 2 вниз та вгору по магнітопроводу 1. Двигуном 5 керує пристрій перемикачання 6, який підключено до джерела 7 напруги управління. Вихідний сигнал з вторинної вихідної обмотки 4 подається на вхід пристрою 8 обчислення вихідного сигналу.



Принцип роботи ДТГ полягає у зміні електромагнітного потоку збудження Φ_1 в обмотці збудження W_1 та відповідно двох ЕРС E_2 та $-E'_2$ у двох секціях обмотки W_2 під дією прискорення сили тяжіння g_z . Під дією сили тяжіння якір 2 рухається в середині магнітопроводу 1 вниз і викликає зміну електромагнітного потоку Φ_1 та відповідно E_2 та $-E'_2$. У точці електромагнітної симетрії ДТГ отримаємо $E_2 = |-E'_2|$ і вихідний сигнал $U_2 = 0$.

При зміщенні якоря 2 відносно точки симетрії вниз (рисунок 1) або вверх (рисунок 1, обведено пунктиром) $E_2 \neq |-E'_2|$, вихідний сигнал гравіметра буде пропорційний:

$$U_2 \equiv |E_2 - E'_2| \equiv mg_z \quad (1)$$

У ДТГ пристрій-перемикач (ПП) 6, який живиться від джерела напруги управління 7, через рівні інтервали часу в 1 с перемикає подачу вертикального руху якоря 2 вниз (рисунок 1) та вверх (рисунок 1, обведено пунктиром) через двигун 5.

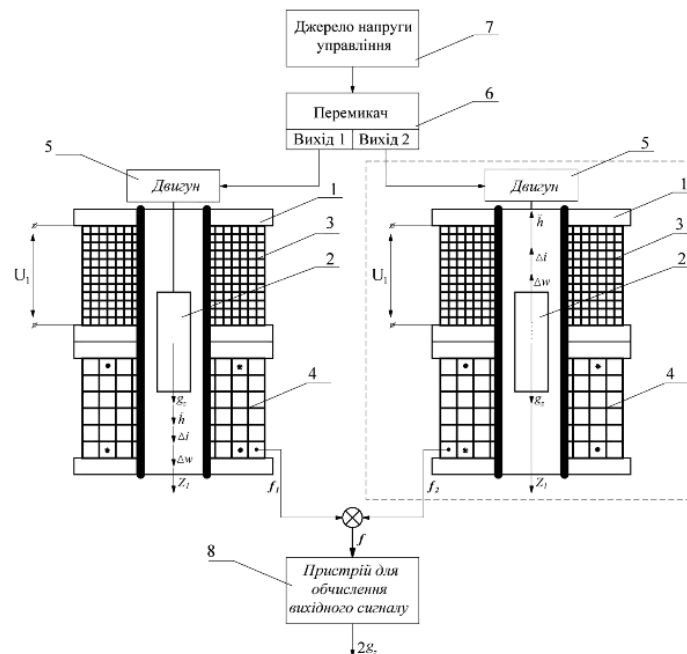


Рисунок 1 - Трансформаторний гравіметр:

1 – магнітопровід, 2 – рухомий якір, 3 – обмотка збудження W_1 , 4 – вторинна обмотка W_2 , 5 – двигун, 6 – перемикаючий пристрій, 7 – джерело напруги управління, 8 – пристрій обчислення вихідного сигналу [12]

При подачі від ПП 6 імпульсу руху вниз якорю 2, вихідний сигнал f_1 чутливого елементу подається у пристрій обчислення вихідного сигналу 8. Через 1с подається імпульс руху вверх якорю 2 і до пристрою обчислення вихідного сигналу 8 надходить сигнал f_2 .

У пристрої обчислення вихідного сигналу 7 формується кінцевий вихідний сигнал:

$$f = f_1 + f_2 = g_z + \ddot{h} + g_z - \ddot{h} = 2g_z, \quad (2)$$

де $f_1 = g_z + \ddot{h}$ – вихідний сигнал ДТГ при русі якоря 2 вниз; $f_2 = g_z - \ddot{h}$ – вихідний сигнал при русі якоря 2 вверх; \ddot{h} – вертикальне прискорення літака.



Тобто, у пристрої 8 обчислення вихідного сигналу ДТГ формується вихідний сигнал, який рівний подвоєному значенню $2g_z$.

Вплив зовнішніх електромагнітних потоків перешкоди, яких є значним на ЛА, у ДТГ також скасовується завдяки зустрічному з'єднанню вторинних обмоток.

У вихідному сигналі ДТГ відсутні такі похибки вимірювань, які спричинені впливом вертикального прискорення \ddot{h} . Однак, можуть бути присутніми залишкові похибки від впливу вертикального прискорення із-за несиметрії конструкції ДТГ та інших факторів.

Подвоєний сигнал ДТГ $2g_z$ входить до складу вихідного сигналу АГС.

Оскільки у ДТГ виконується безпосереднє вимірювання прискорення сили тяжіння g_z або його аномалії Δg_z , то з'являється можливість виконати фільтрацію вимірювального сигналу.

На рисунку 2 побудовано графік спектральної щільності корисного сигналу прискорення сили тяжіння g_z або його аномалії $G_{\Delta g_z}(\omega)$ – крива 1. Також побудовано графік спектральної щільності сигналу основної перешкоди вертикального прискорення $G_{\ddot{h}}(\omega)$ – крива 2. Переважна частота першого сигналу дорівнює 0,00175 рад/с, переважна частота другого сигналу – 0,269 рад/с. Графіки частотних спектрів 1 і 2 пересікаються у точці $\omega = 0,1 \text{ с}^{-1}$.

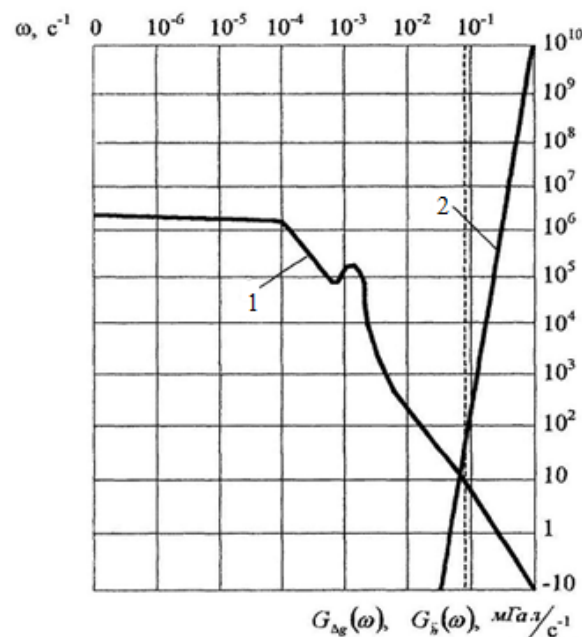


Рисунок 2 - Графіки спектральних щільностей корисного сигналу $2g_z$ (1) і вертикального прискорення ЛА (2) \ddot{h} [4]

Основна частина потужності корисної складової вимірювального сигналу зосереджена на частотах, менших 0,1 рад/с (крива 1, рисунок 2). Основна частина потужності похибок вимірювального сигналу від впливу вертикального прискорення зосереджена на частотах, більших за 0,1 рад/с (крива 2, рисунок 2). Якщо вибрати частоту власних коливань ДТГ $\omega_0 = 0,1$ рад/с, то сам ДТГ буде фільтрувати сигнал похибки вертикального



прискорення (ДТГ буде виступати, як фільтр низьких частот). Введення додаткового фільтра не потрібне. Це збільшує надійність АГС з ДТГ, що є ще одною перевагою ДТГ порівняно з іншими відомими типами гравіметрів АГС.

Висновки.

Було запропоновано метод фільтрації вихідного сигналу двоканалного трансформаторного гравіметра авіаційної гравіметричної системи шляхом вибору частоти власних коливань ДТГ $0,1\text{с}^{-1}$ у точці перетину спектральних щільностей прискорення сили тяжіння (або його аномалії) та основного збурення - вертикального прискорення (без фільтрації у 10^3 раз перевищує корисний сигнал), завдяки якому у вихідному сигналі ДТГ усувається вплив вертикального прискорення.

Література:

1. Пельпор Д.С., Матвеев В.С., Арсентьев В.Д. Динамически настраиваемые гироскопы: Теория и конструкция. – М. Машиностроение, 1998. – 264 с.
2. Лозинская А.М., Фомина З.И., Яшаев ИЛ. Аэрогравиметрическая аппаратура на базе струнных датчиков // Прикладная геофизика. – М.: Недра, 1973. – С. 175-186.
3. Багрянец В.О. и др. Аэрогравиметрические измерения с борта самолета//Разведочная геофизика. – М.: Недра, 1986. –Вып. 105. – С. 105-109.
4. Безвесільна О.М. Вимірювання прискорень. Підручник. – Київ: Либідь, 2001. – 264 с.
5. Лозинская А.М. Измерение силы тяжести на борту самолета. – М.: ВИЭМС, 1978. – 70 с.
6. Попов Е.И. Определение силы тяжести на подвижном основании. – М.: Наука, 1987. – 218 с.
7. Одинцов А.А. Динамически настраиваемые гироскопы. – К.: НМК ВО, 1992. – 68 с.
8. Павловский М.А. Теория гироскопов. – К.: Вища школа, 1986. – 303 с.
9. Безвесільна О.М., Ткачук А.Г. П'єзоелектричний гравіметр авіаційної гравіметричної системи: Монографія – Житомир: ЖДТУ, 2013. – 240 с.
10. Безвесільна О.М., Чепук Л.О. Струнный гравіметр. – Житомир: ЖДТУ, 2015. – 217 с.
11. Безвесільна О.М., Хильченко Т.В. Двоканальний МЕМС гравіметр автоматизованої авіаційної гравіметричної системи: Монографія. – Київ: ДП НВЦ «Пріоритети», 2017. – 181 с.
12. Ткачук А.Г., Безвесільна О.М. Трансформаторний гравіметр. Патент на корисну модель №142824 від 25.06.20. Бюл.№12 по заявці № u 2020 00884. Дата подання заявки 12.02.2020.G01V 7/00 <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7690/142824.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Abstract. The article is devoted to the research of filtering the output signal of the aviation gravimetric system with a two-channel transformer gravimeter. A filtering technique has been developed that allows to separate the gravity acceleration anomaly signal of the two-channel transformer gravimeter from the largest obstacle of the vertical acceleration signal of the aircraft



in order to increase the accuracy of the gravimeter as part of the aviation gravimetric system by choosing the natural frequency of oscillations of the two-channel transformer gravimeter 0.1 s^{-1} at the intersection point graphs of the spectral densities of the useful signal of the gravitational anomaly and the main disturbance of the vertical acceleration.

Key words: two-channel transformer gravimeter, aviation gravimetric system, gravity anomaly, vertical acceleration.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Безвесільна О.М.

Стаття відправлена: 23.02.2023 г.

© Безвесільна О.М., Киричук Ю.В., Гриневич М.С., Толочко Т.О.



UDC 621.77.043

DIFFICULTIES IN MODELING PROCESSES IN THE ZONES BEFORE ENTERING THE EXTRUDER MATRIX AND IN THE EXTRUDER MATRIX AND THEIR SOLUTION BY CREATING A UNIVERSAL MATHEMATICAL MODEL

Radchenko N. L.*c.t.s., senior researcher*

ORCID: 0000-0002-5315-1609

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Akademika Bulakhovskoho, 2, 03164***Ivanitsky G. K.***d.t.s., leading researcher*

ORCID: 0000-0002-0486-2359

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
Prospect Peremogy, 37, 03056**Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Akademika Bulakhovskoho, 2, 03164***Tselen B. Ya.***c.t.s., leading researche*

ORCID: 0000-0001-5213-0219

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Akademika Bulakhovskoho, 2, 03164***Nedbailo A. Ye.***c.t.s., senior researcher*

ORCID: 0000-0002-8590-5823

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Akademika Bulakhovskoho, 2, 03164*

Abstract. The article analyzes the existing mathematical models and methods for calculating the process of extrusion processing of plant materials. Based on the analysis, their main advantages and disadvantages are determined. It has been established that most models consider the process in loading and compression zones where raw materials are only crushed and mixed. At the same time, very few mathematical models describe the zones where the raw material passes into the viscoplastic state, in particular, the zones before entering the matrix and in the matrix. However, it is in these zones that the most complex hydrodynamic, heat exchange, biochemical and structural transformations occur. Because of such difficulties, a number of simplifications are adopted in existing models that do not allow determining the real parameters of the process and making such models unsuitable for designing extruders.

The mathematical model developed by the authors takes into account the main determining factors that allow applying the model and calculation program for different types of extruders and for different types of raw materials. The developed program allows you to calculate the dynamics of thermal and hydrodynamic processes along the entire channel and at local points. At the same time, it is possible to assess the contribution of each of the dissipative factors responsible for the heating of raw materials and calculate the loss of heat to the environment.

Key words: extruder, matrix, plant raw materials, heat transfer.

Introduction. Research and analysis of scientific works in the field of development of modern extrusion equipment for the food industry showed that most experimental studies are devoted to the study of quality indicators finished products. At the same time, the heat exchange and hydrodynamic processes in the extruder



channel remain poorly studied. The mechanism of their influence on the depth of structural and physics-chemical transformations in raw materials also remains poorly understood. Although it is these factors that determine the effectiveness of the method and are responsible for the quality of the product. The lack of data in the literature is associated with the complex specifics of the process, in particular, its short duration and the inability of measuring equipment to access the extruder channel for experimental study of the process.

Having investigated the state of the problem and taking into account the previous experience of scientific works, the authors formulated the following tasks:

- development of a mathematical model that will allow you to calculate the real parameters of the process at any point in the channel in the most complex zones before entering the matrix and in the matrix. simultaneously take into account the shortcomings and simplifications of mathematical models known in the literature;
- develop a universal calculation algorithm for different types of extruders and various types of raw materials.

Main text.

Mathematical models known in the literature, considering the extrusion process in the processing of plant materials, divide it into several functional zones. Each of them is described by the corresponding equations. Most models known in the literature calculate the feeding zones (dosage), grinding (compression) and homogenization, since they are the simplest when modeling. In these zones, there are no phase transitions of raw materials, but only grinding and mixing. The number of models that consider the zone before entering the matrix and in the matrix itself is limited due to the complexity of the calculation. This is caused by the fact that in these zones there is a transition of mass from dispersed bulk to viscous and plastic. This condition is accompanied by a decrease in viscosity due to compression, grinding, additional fat release and melting carbohydrates. In addition, the calculation is complicated by the absence in the literature of thermophysical and rheological properties of raw materials.

When modeling zones before entering the matrix and in the matrix, most authors consider separately the zone in front of the matrix, assigning it to the homogenization zone and the matrix zone, which does not allow obtain the dynamics of changes in temperatures, pressures and velocities. Very often, mathematical models are based on the assumption of the isothermal nature of the process, based on the fact that the extruder body is made with thermal insulation or is heated. This does not take into account an important extrusion mechanism – heating the melt due to viscous dissipation. However, this factor is the main in the cone part of the channel [1,2].

In the overwhelming majority of works, the simulation does not take into account the rotation of the screw and, accordingly, does not take into account the influence of centrifugal forces on the melt and the effect of shear stresses of the tangential velocity. Moreover, the component of viscous dissipation due to the rotation of the cone and the heating of the liquid associated with this is not taken into account. Very often in models, the melt in front of the matrix is assumed by a Newtonian liquid that moves at a constant temperature and, accordingly, the viscosity



coefficient in this zone is unchanged, and non-Newtonian properties appear only in the matrix channel. This assumption simplifies the model, but does not allow obtain real results of the process [2, 3]. The vast majority of works, citing a mathematical model, do not give the results of calculations at all, and therefore such models cannot be used in practice. Most models are designed to calculate only one type of raw material and when processed in an extruder of only one type [3, 4].

In this paper, in the process of modeling, the authors took into account the shortcomings of existing models. In particular, the raw material in the zone in front of the matrix and in the matrix is considered as a homogeneous non-Newtonian viscoplastic liquid. An orthogonal conical coordinate system is also used, which makes it possible to take into account the rotation of the screw in the zone in front of the matrix. For the matrix channel, a cylindrical coordinate system is used, which is associated with a conical coordinate system by simple geometric ratios.

The initial data for the developed calculation algorithm are the geometric dimensions of the channel, the speed of rotation of the screw, pressure, temperature and moisture content at the entrance to the corresponding zones, thermophysical and rheological properties of raw materials, as well as temperature, pressure and thermophysical properties of the environment – air.

The basic equations of the developed model and algorithm are the classical equation of motion, the continuity equation, the energy conservation equation and the empirical equation for determining viscosity, in which the dissipative function is the quadratic tensor of the deformation velocities. The solution of the system of the first three equations according to the standard scheme makes it possible to calculate the speed of flow, pressure and temperature of the liquid along the channel before entering the matrix and in the matrix, taking into account the rheological properties of the liquid.

The solution of the equation of motion allows us to evaluate both the total change in pressure in the channel and the contribution of each component separately. In particular, a reversible pressure drop associated with a decrease in the cross-sectional area of the annular channel, an irreversible pressure drop caused by the action of normal stresses during channel narrowing, an irreversible loss of pressure under the action of shear stresses in the radial direction caused by friction of the axial flow with the wall, a change in pressure due to centrifugal forces caused by the rotation of the screw. The equation does not take into account the component of mass gravitational forces, since this value does not significantly affect the change in pressure in the channel.

Evaluation of pressure losses caused by shear stresses due to friction of the flow with the channel wall was carried out under boundary conditions: $v_z(R_1) = 0$ and $v_z(R_2) = 0$. Determination of the change in pressure associated with the rotation of the screw in the area in front of the matrix is carried out under boundary conditions: $v_\theta = \omega_0 R x_1$ at $u = R x_1$ and $v_\theta = 0$ at $u = R x_2$. The solution of each component of the equation of motion for the zone before the matrix is carried out in a conical coordinate system.

The change in pressure in the matrix channel is caused only by friction of the



flow with the channel wall. Therefore, the equation of motion is calculated in cylindrical coordinate systems with boundary conditions: $v_x = 0$ at $u = R_f$ and $dv_x/du = 0$ at $u = 0$.

The basic equations of motion and the continuity equation include local viscosity, which depends on the flow temperature and on the local values of the shear velocities. During the calculation, averaging of local values is performed in each section of the channel, which is later used in the equations as the value of the effective viscosity.

The temperature change in the channel is associated with the viscous dissipation of mechanical energy under the cumulative action of shear stresses, which are considered as internal volumetric heat sources, as well as due to heat transfer to the environment.

The continuity equation allows you to evaluate the contribution of each of the components separately. In particular, the conductive transfer of heat through the wall in the radial direction due to the temperature difference between the liquid and the channel wall, the conductive transfer of heat in the liquid along the channel. At $Re > 1$ this component can be neglected and therefore it is not taken into account in the calculation algorithm. Viscous dissipation of mechanical energy, which includes the following dissipative components: the first is the action of normal stresses on the segment dz in the direction of the axis z ; the second is viscous dissipation due to friction between the flow and the wall; the third is viscous dissipation associated with the rotation of the conical wall of the channel in the zone in front of the matrix. Due to the dissipation of mechanical energy, the flow is heated intensively, and the temperature of the raw material along the channels in front of the matrix and in the matrix is continuously increasing.

The change in the average temperature of the liquid along the channel is calculated by averaging along the cross section and takes into account the heat loss due to the heat transfer of the liquid with the environment. It is considered as three components. The first is the transfer of heat by convection due to the temperature difference between the liquid and the channel wall at a given coefficient of heat return. The second is the conductive transfer of heat through the housing of the extruder in the radial direction due to the difference of temperatures between the outer and inner walls of the housing at a given coefficient of thermal conductivity. The third is heat transfer from the surface of the hull to the surrounding air due to radiation and free convection with a known effective total heat transfer coefficient. All coefficients are calculated by standard heat exchange equation. The value of the heat flux, both for the zone before the matrix and for the matrix, is determined by the overall temperature potential and the sum of three resistances. The calculation of the value of the heat flux allows you to determine the temperature potential for each of the three thermal resistances and, thus, estimate the temperature of the walls.

Based on the developed model, a computer program has been created that can be used in calculating the zone before entering the matrix and in the matrix zone. A computer program is universal for different types of extruders and different types of raw materials.



Summary and conclusions.

Calculations were carried out using numerical methods, in the program Turbo Pascal. The main results of the calculations are shown in Figure 1. In the process of passing the zone in front of the matrix and matrix, the temperature of the raw material is constantly growing. Calculated dependences of temperature changes showed that along these two zones there is an increase in temperature. The change in temperature in the channel is associated with the action of a number of dissipative factors.

Figure 1 in relative units shows the change in the components of the temperature gradient caused by the action of each of these factors: 1) shear stress due to screw rotation (component $(dT_z/dz)_w$); 2) shear stress due to friction of the axial flow with the channel wall (component $(dT_z/dz)_{rz}$); 3) by the action of normal stresses (component $(dT_z/dz)_{zz}$). In addition, a change in temperature gradient is shown $(dT_z/dz)_q$, associated with the loss of heat in the surrounding air.

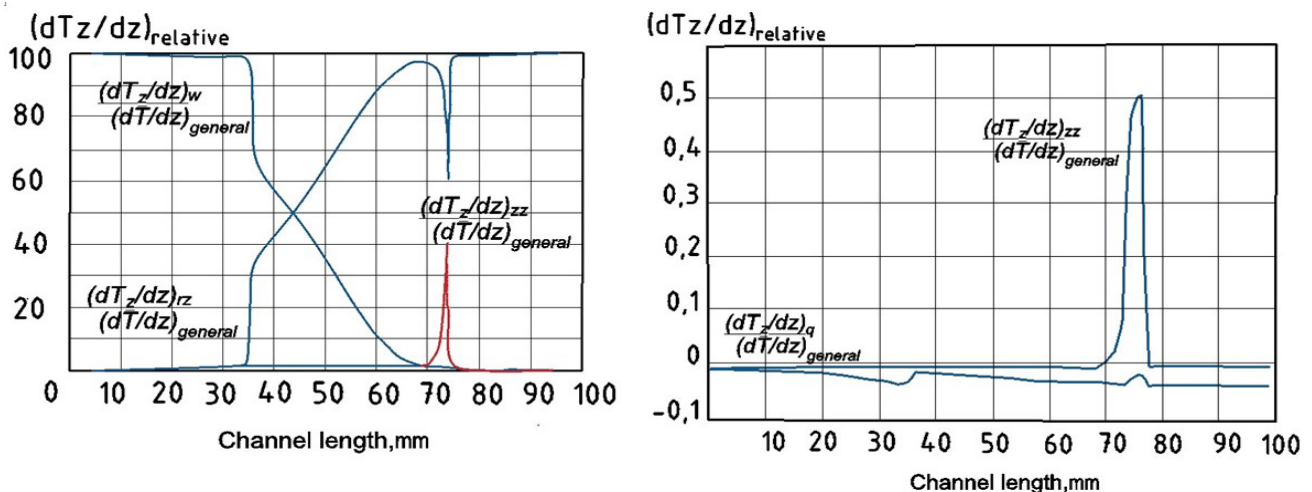


Figure 1 - Change in the relative values of the components of the temperature gradient along the two zones before entering the matrix and in the matrix

The contribution of each of these factors is different as well as their area of action. The increase in temperature in the area in front of the matrix is due to the gradient $(dT_z/dz)_w$ and caused by the action of tangential stress due to the rotation of the screw. Further, the influence of this component gradually decreases to zero, but the role of the component increases $(dT_z/dz)_{rz}$, which is explained by the narrowing of the channel and the increase in flow rate. The influence of the component $(dT_z/dz)_{zz}$ is insignificant and manifests itself only during the transition from zone to zone. It was found that the loss of heat to the environment $(dT_z/dz)_q$ is insignificant compared to dissipative heating.

The model proposed by the authors allows you to calculate the change in speed, temperature, pressure and viscosity along the entire channel and at local points. At the same time allows you to estimate the loss of heat in the environment. Also determine the degree of heating of raw materials due to the viscous dissipation of mechanical energy caused by active factors and assess the influence of dissipative



factors on pressure losses along the channel. In addition, it allows you to analyze the change in the nature of the flow, the degree of heating and structural changes that are associated with the peculiarity of the channel geometry or the speed of rotation of the screw. The model is as close as possible to the real condition of the processing process. All this in the end makes it convenient for practical use. In addition, it is universal and can be used for different types of extruders and different types of raw materials, as well as in the design of the geometry of the channel of two zones before entering the matrix and matrix.

References:

1. Ivanitsky G. K., Shurchkova U.A., Radchenko N.L. Modelyrovanyje processa ekstruzyy v predmatrychnoy zone y v matryce pry obrabotke rastytelnogo syrja. Promyshlennajya teplotehnyka, 2011, issue 6 vol.33, pp.32-38
URI: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60418>
2. Pahomov V. Y., Rudoj D.V., Tupolskyh T.Y., Solovjev V.Y., Bahchevnikov O.N. Tehnologyy y oborudovanye dlya extrudirovaniya rastytelnogo syrja. Rostov-na-Donu: DGTU, 2018. – 108 p.
3. Ostrykov A.N., Abramov O.V., Rudometkyn A.N. Ekstruziya v pyschevoy tehnologyy. Moskva: Gyord, 2004. – 400 p.
4. Kurochkyn A.A., Voronyna V.P., Shaburova G.V. Teoretycheskoe obosnovanye prymerenyya ekstrudirovannogo syrja. NYCYNFRA-M, 2018. – 163 p.

Анотація. В статті проаналізовано існуючі математичні моделі і методи розрахунку процесу екструзійної обробки рослинної сировини. На основі аналізу визначено їх основні переваги та недоліки. Встановлено, що більшість моделей розглядають процес в зонах завантаження та стискання, де сировина лише подрібнюється та перемішується. У той же час дуже мало математичних моделей, які описують зони, де сировина переходить у в'язкопластичний стан, зокрема, зони перед входом в матрицю і в матриці. Однак, саме в цих зонах відбуваються найбільш складні гідродинамічні, теплообмінні, біохімічні та структурні перетворення. Через такі складнощі в існуючих моделях приймається ряд спрощень, які не дозволяють визначати реальні параметри процесу і роблять їх непридатними при проектуванні екструдерів.

В розробленій авторами математичній моделі враховано основні визначальні фактори, які дозволяють застосовувати модель та програму розрахунку для різних типів екструдерів та для різного виду сировини. Розроблена програма дозволяє чисельно розрахувати динаміку термічних та гідродинамічних процесів вздовж всього каналу та в локальних точках. Одночасно оцінити вклад кожного з дисипативних факторів, відповідальних за нагрів сировини та обчислити втрати теплоти в оточуюче середовище.

Ключові слова: екструдер, матриця, рослинна сировина, теплообмін

Article sent: 17.02.2023

© Radchenko N. L., Ivanitsky G. K., Tselen B.Ya., Nedbailo A. Ye.



УДК 621.32

**SOFT START DEVICE INTRODUCTION AS A WAY TO ENERGY
EFFICIENCY OF THE ENTERPRISE****ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ПЛАВНОГО ПУСКУ - ШЛЯХ ДО
ЕНЕРГООЩАДНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА****Fedoriv M./ Федорів М.Й.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8917-4159

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
15 Karpatska Str, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine.**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019*

Анотація. В статті розглянуті шляхи економії в електротехнічних нафтогазових комплексах. Здійснено аналіз впровадження пристроїв плавного пуску асинхронних двигунів насосних агрегатів та їх функціонування в різних режимах роботи. Запропонована система плавного пуску дозволяє зменшити втрати потужності та забезпечити стабілізацію електроспоживання.

Ключові слова: електропривод, система електрообладнання, режими роботи електроприводу, втрати потужності, енергоощадність.

Вступ.

Сучасний етап соціально-економічного розвитку держави характеризується значним ростом споживання електроенергії. Прискорення науково-технічного прогресу диктує необхідність вдосконалення промислової електроенергетики, зокрема підготовки умов для широкого переведення її на енергозберігаючий процес розвитку [1].

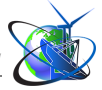
Розвиток і удосконалення систем електропостачання, зростаючі вимоги до економічності та надійності вимагає впровадження пристроїв управління розподілом та споживанням електроенергії на базі сучасної обчислювальної техніки та систем плавного пуску.

Основний текст.

Головним недоліком асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором є наявність у них великих пускових струмів. І якщо теоретично методи їх зниження були добре розроблені вже досить давно, то ось практично всі ці розробки (використання пускових резисторів і реакторів, перемикання з зірки на трикутник, використання тиристорних регуляторів напруги і т.д.) застосовувалися дуже в рідкісних випадках [2].

Переважає більшість електропривідних машин працюють у важких високонавантажених режимах та оснащені при цьому нерегульованими електроприводами на основі вибухозахищених асинхронних електродвигунів. Це обумовлює підвищене зношування їхніх елементів через високі динамічні навантаження, ривків, більших пускових струмів, які виникають в основному в початковий момент при пуску.

Методи, що застосовуються для зниження динамічних навантажень за допомогою турбомуфт, електромагнітних муфт і двохшвидкісних електродвигунів володіють рядом відомих недоліків і не забезпечують повною



мірою надійний та ефективний захист машин.

Найбільш ефективним способом пуску та керування приводами є застосування перетворювачів частоти. Однак висока вартість і складність обслуговування, а також проблеми охолодження перешкоджають їхньому широкому поширенню.

Три найбільш поширені схеми влаштування плавного пуску.

1. Схема влаштування плавного пуску для однофазного асинхронного електродвигуна. Вона ґрунтується на двох семисторах, встановлених на зустріч один одному. Така схема може застосовуватися і для плавного пуску асинхронного двигуна від трьох фаз, коли достатньо модулювати тільки одну фазу. Наприклад, при легкому пуску, і потужність двигуна - кілька кіловат .

2. Друга схема – це модуляція за двома фазами. Вона застосовується, коли потужність у двигуна вже велика (до кількох сотень кіловат), але обмеження струму забезпечувати немає необхідності. Основний плюс такої схеми – плавний пуск електродвигуна, який коштує дешевше, ніж повноцінна трифазна модуляція.

3. Остання схема – це повноцінне трифазне модулювання. З плюсів – можливість контролю над пусковими струмами, найбільш якісний плавний пуск асинхронного електродвигуна та зупинка. З мінусів – ціна, тому що на всіх трьох фазах встановлені семистори, а вони – найдорожча деталь пристрою плавного пуску .

Пристрій плавного пуску AU COM HITACHI призначений для плавного пуску трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.

Пристрій забезпечує плавний пуск асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором з регульованою тривалістю від 5 до 20 с.

Технічні характеристики:

Номінальна частота змінного струму, при якій повинен працювати пристрій – 50 Гц;

Номінальна напруга силового ланцюга – 1140/380 В;

Номінальний струм силового ланцюга – 250 А;

Струм транзитного навантаження – 125 А;

Пристрій має іскробезпечні ланцюги дистанційного керування;

Контрольований опір заземлюючого проводу – 50 Ом;

Уставки спрацьовування пристрою контролю ізоляції:

при напрузі мережі 380 В – 30 кОм;

при напрузі мережі 1140 В – 100 кОм;

Споживана потужність ланцюгів захисту та керування не більше 80 В·А.

Електрична схема пристрою забезпечує: візуальну індикацію готовності до пуску після подачі напруги на пристрій; візуальну індикацію очікування пуску та часу пуску; візуальну індикацію струму електродвигуна в ході пуску та після його закінчення; дистанційне керування за допомогою кнопочового поста керування або контактів апаратури автоматизованого керування, встановленого окремо від пристрою; підключення температурного захисту, вбудованого в електродвигун і який має релейний вихід; захист від струмів короткого замикання (КЗ), які відходять від пристрою силових ланцюгів і світлову



сигналізацію після її спрацьовування. Повний час спрацьовування при струмах, які перевищують уставку пристрою максимального струмового захисту в 1,5 рази, не повинен перевищувати 0,12 с; струмовий захист від перевантаження двигуна та світлову сигналізацію після її спрацьовування; електричне блокування, яке перешкоджає включенню контакторів пристрою при опорі ізоляції в силових ланцюгах, які відходять, нижче 30 кОм при напрузі мережі до 380 В і нижче 100 кОм при напрузі мережі 1140 В і світлову сигналізацію після спрацьовування блокування; нульовий захист; захист при обриві або збільшенні опору заземлюючого ланцюга між пристроєм і керованим електроприймачем до 50 Ом та більше; захист від втрати керованості при замиканні проводів ланцюга дистанційного керування між собою або із заземлюючим проводом; захист від самовключення пристрою при короткочасному (не більше 1 с) підвищенні напруги живильного ланцюга до 1,5 $U_{ном}$, при цьому пристрій повинен залишатися в працездатному стані; перевірку дії пристрою попереднього контролю ізоляції; світлову сигналізацію про включений стан роз'єднувача і контакторів; спрацьовування загальносітьового захисту від витоків на землю у випадку «зварювання» силових контактів вакуумних контакторів у кожному із трьох полюсів у відключеному положенні пристрою (при наявності підключеного двигуна); іскробезпека ланцюгів дистанційного керування; захист від перегріву силових тиристорів і візуальну індикацію температури; захист у ланцюзі зовнішнього навантаження напругою 36 В.

В основу роботи пристрою плавного пуску покладений принцип живлення трифазного асинхронного двигуна шляхом поступового збільшення напруги при пуску, забезпечуваного тиристорним перемикачем (VD), складається із шести тиристорів включених по два паралельно в кожній фазі живильної мережі.

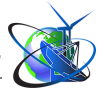
Тиристорний перемикач дозволяє плавно змінювати напругу при постійній частоті мережі за рахунок моменту відкривання тиристора. Керування швидкістю наростання вихідної напруги забезпечується мікропроцесорним блоком керування (МБК).

Пусковий момент двигуна змінюється пропорційно квадрату напруги при фіксованій частоті. Плавне збільшення напруги виключає кидок струму в момент ввімкнення, при цьому також виключається механічний удар у системі двигун-редуктор.

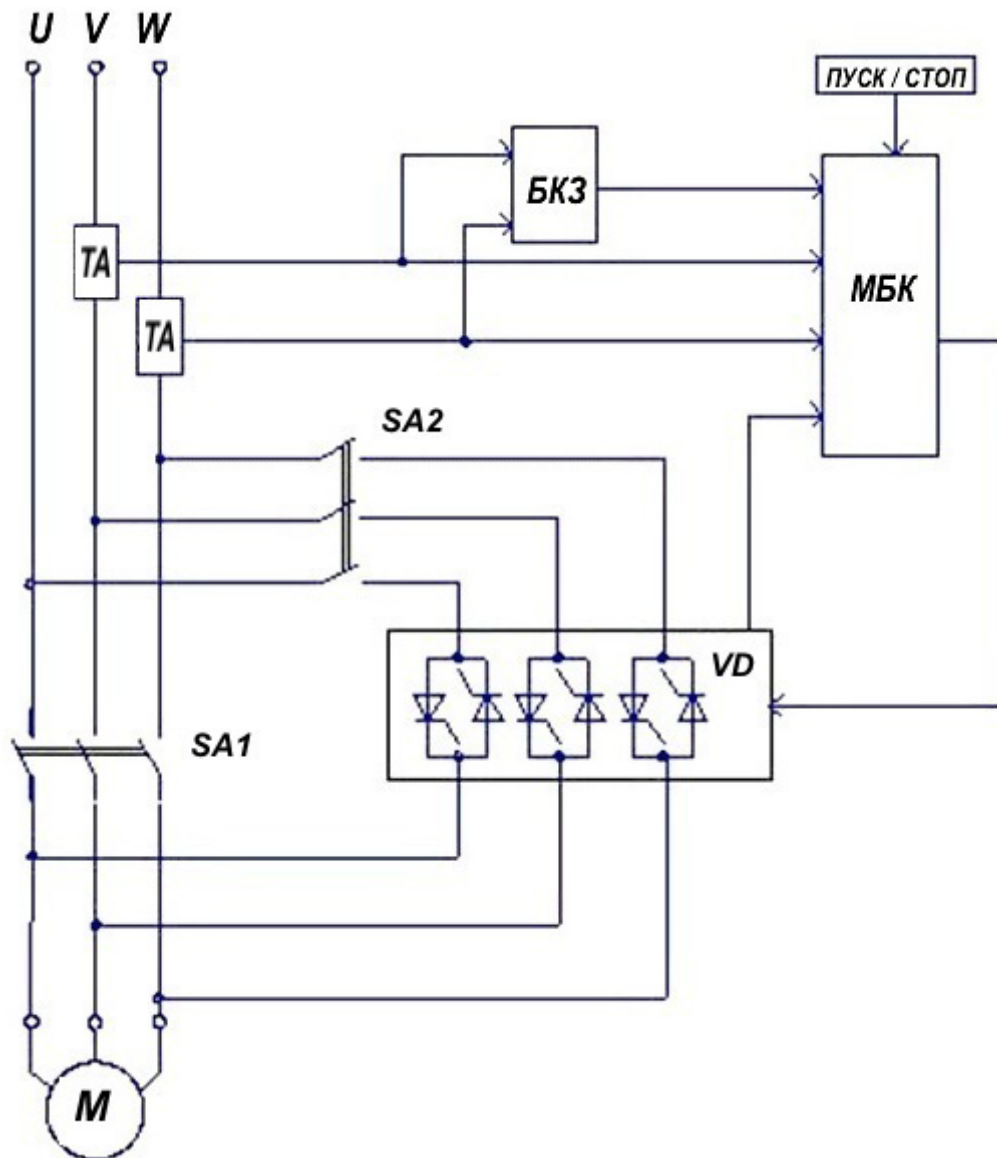
Структурна схема пристрою наведена на рисунку 1.

У програму мікропроцесора МБК закладена функція контролю струму навантаження. Ця функція виконує захист від обриву фази, захист від перевантаження двигуна та підтримує кратність обмеження пускового струму стосовно номінального, яка задається користувачем за допомогою перемикачів.

МБК виконаний у металевому корпусі. На його передній стінці є рідиннокристалічний дисплей для відображення основних налаштувань і параметрів. Програмування параметрів пуску здійснюється за допомогою багатопозиційних перемикачів, розташованих на задній стінці, за допомогою яких задаються наступні дані:



- час пуску;
- номінальний струм;
- кратність пускового струму;
- стартова напруга (%).



*ТА – датчик струму; БКЗ – блок комплексного захисту;
 МБК – мікропроцесорний блок керування; VD – тиристорний перемикач;
 SA – вакуумний контактор; М – асинхронний двигун*

Рисунок 1 – Структурна схема пристрою плавного пуску

Тиристорний перемикач виконаний у вигляді модуля, який складається із шести тиристорів, установлених на загальному радіаторі. Для примусового повітряного охолодження радіатор VD оснащений вентилятором. Контроль температури радіатора здійснюється напівпровідниковим датчиком, сигнал від якого передається в МБК. Значення температури виводиться на дисплей. При нагріванні радіатора понад 80 °С МБК відключає пристрій. У модулі є також плата трансформаторів, що забезпечують гальванічну розв'язку схеми керування тиристорами від силової та плата синхронізації схеми керування з



кжною фазою мережі.

У пристрої застосовані два вакуумних контактори. Контакттор SA1 шунтує тиристорний перемикач по закінченні розгону, щоб запобігти надмірному підвищенню температури тиристорів у замкнутому просторі вибухонепроникної оболонки. Контакттор SA2 забезпечує у відключеному стані, в порівнянні з тиристорами, більш надійну ізоляцію силового ланцюга, що відходить.

Алгоритм роботи МБК побудований таким чином, щоб при виконанні команди «ПУСК» забезпечити бездугову комутацію контакторів, тобто включається SA2, відкриваються тиристори, включається SA1, закриваються тиристори, відключається SA2. При виконанні команди «СТОП» включається SA2, відкриваються тиристори, відключається SA1, закриваються тиристори, відключається SA2.

Використані при розробці пристрою схемні та конструкторські рішення дозволили розмістити його в вибухонепроникній оболонці пускача, що серійно випускається ПБР-Р, який складається з корпусу, кришки, яка швидко відкривається, кришок вступного та вивідного відділень, кабельних вступних пристроїв.

Пристрій плавного пуску має одне транзитне уведення, три входи для ввімкнення силових кабелів і чотири входи для ввімкнення гнучких кабелів. входи для ввімкнення силових кабелів розраховані на підключення як гнучких, так і броньованих кабелів з можливістю виконання сухого оброблення.

У корпусі пристрою розташовані роз'єднувач, панель із двома контакторами на струм 250 і 160 А відповідно, два датчики струму, трансформатор напруги, два блока форсованого включення контакторів (БФВ) і вивідні ізолятори.

У процесі пусків за допомогою осцилографа записувалося амплітудне значення струму двигуна і швидкість обертання вала. З неї визначено параметрами пуску: час пуску – 15 с; номінальний струм – 250 А; кратність струму обмеження – 3; початкова напруга – 10 % номінальної.

Для пуску з такими параметрами характерний плавний ріст струму, однак початок обертання ротора двигуна зафіксовано тільки через 5 с після подачі напруги. Такий режим пуску небажаний за умовами нагрівання двигуна. Більш оптимальним є режим з наступними параметрами: час пуску – 14 с; номінальний струм – 250 А; кратність струму обмеження – 3; початкова напруга – 30 % номінального.

Аналіз осцилограм показує збільшення струму в початковий момент пуску, при якому створюється обертаючий момент, достатній для подолання даного моменту опору. Обертання ротора починається менш чим через одну секунду. При цьому відсутні втрати енергії на небажане нагрівання двигуна.

У процесі випробувань вимірялася температура радіатора VD. Після виконання 15 пусків навантаженого двигуна з інтервалом 5 хвилин температура збільшилася на 30 °С, що свідчить про правильний вибір площі радіатора та алгоритму керування тиристорами.



Для оптимального пуску були експериментально підібрані наступні параметри: час пуску – 7 с; номінальний струм – 170 А; кратність струму обмеження – 4; початкова напруга – 25-30 % номінальної.

Висновки.

Пристрої плавного пуску дають можливість зменшити рівень пускових струмів, зменшити механічні перенавантаження двигуна і насоса, зменшити гідроудари в системі та зменшити перенавантаження на запірну й регулюючу арматуру. Як результат, збільшується термін роботи обладнання, мінімізується кількість пошкоджень трубопроводів та зменшуються витрати на ремонти, а це також економія, хоча і не пряма. Дослідження пристрою для керування приводом нафтового насоса перекачки нафти на головні споруди підтвердив необхідність ретельного підбору параметрів пуску пристрою в кожному конкретному випадку.

Література:

1. Надійність електропостачання. Навчальний посібник / М.Й. Федорів, М.І.Михайлів – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. –183 с.
2. Лаврінченко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г., Лисенко В.П. Електропривод: підручник (за ред. Лаврінченка Ю.М.). – К.: вид-во Ліп-К., 2009. – 504 с.
3. Федорів М.Й.,Галушак І.Д., Проблема підвищення надійності релейного захисту в електроенергетичних системах . Sworld –International stientific integration : Збірник матеріалів конференції , 2020 с.92-94 (9-10 листопада) (Index Copernicus).
4. Електронний ресурс http://www.energysavecom.ru/download/vektorn_uprav.pdf

Abstract. The article discusses ways of saving in electrotechnical oil and gas complexes. An analysis of the introduction of soft start devices for asynchronous motors of pumping units and their functioning in different modes of operation was carried out. The proposed soft start system allows you to reduce power losses and stabilize power consumption.

Keywords: electric drive, electrical equipment system, electric drive operating modes, power losses, energy saving.



УДК 633:504.054

PAVLOVNIA AS A RENEWABLE SOURCE OF ENERGY

ПАВЛОВНІЯ ЯК ВІДНОВЛЮВАЛЬНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

Iesipov O. V. / Єсіпов О. В.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-7395-2892

Polyashenko S. O. / Поляшенко С.О.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-0133-4902

Sorokin S. P. / Сорокін С. П.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-1720-219X

State Biotechnological University, Kharkov, Prospekt Heroiv, 45, 61032

Державний біотехнологічний університет, Харків, проспект Героїв Харкова, 45, 61032

Анотація. В роботі розглядається питання щодо перспектив вирощування павловнії, як енергетичної сировини. Павловнія використовується крім як в індустрії, ще і в енергетиці у вигляді пелет, а також у вигляді сировини для виробництва альтернативного біопалива. Враховуючи досвід Європейського Союзу в вирощуванні енергетичних культур, а також властивостей павловнії, щодо швидкого нарощування біомаси та відновлення зростання у поєднанні з інноваційними технологіями вирощування деревини, може стати важливою частиною політики економії ресурсів і вирішення проблем, пов'язаних із споживанням енергії, без ризику для навколишнього середовища.

Ключові слова: енергетичні культури, павловнія, біопаливо, пелети, біогазові установки, біоетанол, біодизель, тепловіддача, джерело теплової енергії

Вступ.

Енергетичні культури є важливою складовою біоенергетичного сектора ЄС. Європейська біоенергетична асоціація (АЕВІОМ) оцінює сьогоднішній потенціал енергетичних культур в Євросоюзі на рівні 44-47 млн. т н.е./рік (тонна нафтового еквіваленту). Одна з цілей ЄС на 2025 рік – досягти 138 млн. т н.е. біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні, що відповідає 14% КСЕ (кінцеве споживання енергії). Наявний потенціал енергетичних культур дозволяє покрити близько третини цієї цілі [1].

За даними 2021 р., загальна площа під лігноцелюлозними енергокультурами в ЄС становить порядку 130-140 тис. га. Близько 37% цієї площі (50 тис. га) припадає на Румунію, де вирощується просо прутноподібне. Значні площі задіяні також у Фінляндії під двукісточник тростиноподібний (близько 19 тис. га), у Великобританії – під міскантус (10-11 тис. га), в Швеції і Польщі – під вербу (11 тис. га і 5-9 тис. га, відповідно).

Площі під енергокультурами, призначеними для виробництва рідких біопалив, в Європі на порядок більші – понад 2,5 млн. га в цілому по ЄС. В основному це зернові культури й ріпак. Майже 38% цієї площі припадає на Німеччину, де 746,5 тис. га зайняті ріпаком (на біодизель) й 200 тис. га – цукрово- та крохмалевмісними культурами (на біоетанол). На значних площах (1157 тис. га) в цій країні також вирощуються культури, які є сировиною для отримання біогазу.



На сьогодні в країнах Євросоюзу 13,2 млн. га земель є доступними для вирощування енергокультур; до 2025 р. цей показник може вирости до 20,5 млн. га, а до 2030 р. – до 26,2 млн. га. За оцінкою Європейської Комісії, для досягнення цілі 2025 року (10% ВДЕ в транспортному секторі ЄС) під енергетичні культури необхідно задіяти 17,5 млн. га або близько 10% всіх використовуваних сільськогосподарських земель країн ЄС.

Постановка проблеми.

У ЄС використовуються різні заходи, стимулюють використання біомаси. Вибір заходів залежить від країни та від особливостей технічної інфраструктури, природних ресурсів, індустриальних традицій, а також від географічного положення, кліматичних умов та політичної волі. Головні важелі можна класифікувати наступним чином:

- регулювання, засноване на ринковому механізмі;
- звільнення з податків;
- субсидії та гранти;
- спеціальні схеми фінансування.

В той час, як ринкове регулювання використовується тільки для стимулювання вироблення електроенергії на базі відновлюваних джерел, податкова система дозволяє впливати також на використання біомаси. Зазвичай це означає або оподаткування тільки викопних палив, або звільнення від податків біопалив при диференційованому оподаткуванні всіх палив. Використовується також комбінація цих двох варіантів (наприклад, Австрії, Швеції, Німеччини, Фінляндії). В деяких випадках інвестиції у біопаливо звільняються від податків (прибутковий податок) або податок з обігу). Субсидії та гранти зазвичай використовуються для стимуляції переходу від викопних палив до біомасі. Як спеціальні засоби фінансування використовуються "м'які" позики (з низьким відсотком або безпроцентні).

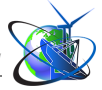
Виклад основного матеріалу.

Павловнія росте з разючою швидкістю, швидше за саджанця тополі, набираючи на рік до 3-5 м у висоту за оптимальних умов. І виготовляє до сотні тон біомаси на гектар після 3-х років.

Середньорічний приріст у павловнії в регіонах із середньою річною температурою від +3 °С до +8 °С становить від 2 до 2,5 м на рік, при температурі від +5 °С до +14 °С, у південних регіонах приріст становитиме від 3 до 5 м на рік. Діаметр стовбура у сприятливих умовах зростання за перший рік-два може досягти від 5 до 10 см. Стовбур після кожної вирубки самовідновлюється, причому швидкість зростання не сповільнюється. Павловнія може витримати до 5-9 таких зрубів. Таку властивість дерева вигідно використовують лісозаготівельні господарства та деревообробні підприємства, так як це суттєво знижує витрати на посадку дерева з нуля та догляд за ним. Приріст деревини становить 1 м³ за 7-8 років [2].

Плантації павловнії є в США, Австралії, Японії, Китаї, Великобританії, Іспанії та Болгарії. Павловнія може зростати разом з іншими культурами, особливо протягом перших 2-3 років.

Батьківщиною більшості видів роду рослин сімейства павловнієвих



(Paulowniaceae) є Східна Азія - Японія, Корея, Китай, Лаос, В'єтнам. Всі види павловнії, вирощені в комерційних цілях, є клонами, які ідентичні рослинам зі специфічними характеристиками: наприклад, гібрид павловнії Fortunei має властивість швидко зростати і високу якість деревини, а Tomentosa - відомий своєю стійкістю до морозів, також вирощують Paulownia Elongata і похідні які також дають чудові результати.

Китай вже вирощує у павловнії більш ніж 32 млн. га, в основному у поєднанні з іншими культурами.

Деревина павловнії накопичує у великій кількості дубильні речовини, що робить її стійкою до впливу багатьох шкідників та хвороб.

Без сумніву, деревина павловнії є 100% екологічно чистою сировиною, м'яка, легка, стійка до вогню, вологи та деформації. Види павловнії дуже різні за своїми характеристиками і стійкості до кліматичних умов. На сьогоднішній день на ринку представлений широкий асортимент гібридів павловнії для вирощування якісної деревини. Єдиний суттєвий мінус цього дерева, на який повинні звернути увагу виробники, це порівняно його низька зимостійкість, адже при сильних морозах (нижче -25°C) її пагони можуть обмерзати. Тому у зв'язку із цим необхідно дуже ретельно підходити до вибору посадкового матеріалу.

Особливістю павловнії, як і будь-яких інших багаторічних культур є те, що дерево садиться один раз і може використовуватися кілька десятків років. Після кожного обрізання дерево відростає. Обрізання промислових насаджень проводять з інтервалом 4-8 років, а саме дерево може бути корисним до 50 років і більше, зменшує витрати на закладку нових насаджень. Стовбур можна обрізати будь-якої пори року. При належному догляді через 7 років можна отримати 240-350 м³ якісної деревини з 1 га [3].

Павловнія - це один з небагатьох повністю відновлюваних природних ресурсів. Тому закономірно виникло питання використання її як альтернативного джерела енергії.

При споживанні біопалива, що постійно зростає, вже найближчим часом, країнам Центральної Європи не вистачатиме своїх лісових ресурсів, тому Німеччина, Голландія, Великобританія та Іспанія планують значно збільшувати імпорт пелетів.

Сьогодні, коли технічний прогрес вимірюється ступенем захисту природи, все більше уваги приділяють біопаливу з відновлюваних, високопродуктивних енергетичних культур.

Використання павловнії у вигляді енергетичної сировини можливе крім як в індустрії, так ще й в енергетичному секторі у вигляді пелет (тверде паливо для котлів і камінів з повністю автоматизованою подачею палива), а також у вигляді сировини для альтернативного біопалива. Для цих цілей використовуються всі частини дерева: стовбур, гілки та листя. Схема можливого використання павловнії в енергетичному секторі (рис.1).

У дослідженні Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) йшлося про те, що через п'ять років біопаливо стане головним відновлювальним джерелом енергії.

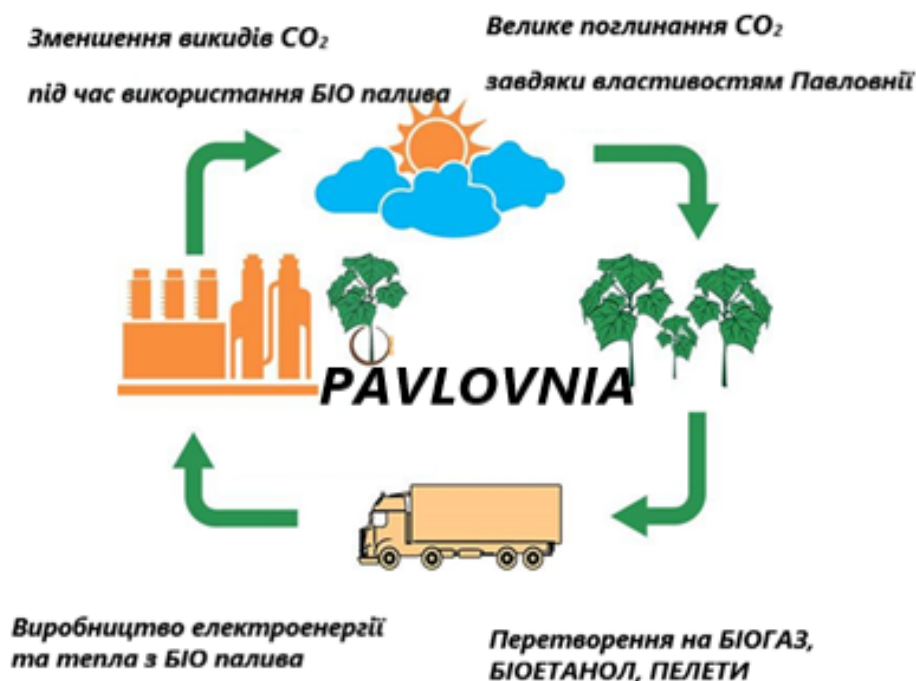


Рисунок 1 – Схема можливого використання павловнії в енергетичному секторі

Використання павловнії у вигляді енергетичної сировини бачиться найбільш перспективним за рахунок здатності дерева до швидкого нарощування біомаси та відновлення зростання, високою тепловіддачею деревини. Порівняльний аналіз енергетичних культур (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз енергетичних культур

Біоенергетичні культури	Вологість біомаси, %	Продуктивність сухої біомаси, т/га	Теплота згоряння, МДж/кг	Насипна щільність, кг/м ³	Виробництво тепла, Гкал/га
Павловнія	50-60	20	15,0	310	62,5
Енергетична верба	50-60	15	13,0	400	42,8
Тополя	40-50	12	14,0	430	34,2
Клен ясенolistий	50-60	10	14,0	450	28,5
Міскантус	20-30	25	16,0	200	80,0
Просо прутіподібне	20-30	18	15,5	120	57,0

Павловнія може використовуватися як сировина для виробництва дров для обігріву будинків, теплиць тощо, пелет та біоетанолу.

При вирощуванні Павловнії на дрова для обігріву на ділянку розміром 10000 м² (1 Га) насаджуються 1000 дерев. При обрізанні восени (для однорічної рослини) виробляється до 7 кг сухої маси з кожного дерева, тож за 1 рік можна отримати 7000 кг сухої маси з одного гектара! Це дозволить не витратити гроші на паливе для обігріву свого житла та підсобного господарства [4].



Завдяки високій тепловіддачі павловнію широко використовують для виготовлення пелет для твердопаливних котлів. У результаті отримуємо дешевий та екологічний вид палива, тому що при горінні павловнії в атмосферу не викидаються шкідливі компоненти.

Пелети – біопаливо, альтернативне екологічно чисте джерело теплової енергії. Ціна на пелети на міжнародному ринку становить приблизно 100 євро/тонну, і це за величезного попиту на відновлювані джерела теплової енергії.

Пелети з Павловнії мають високу тепловіддачу. При спалюванні 1 тонни пелет із Павловнії виділяється стільки ж енергії, як при спалюванні 480 м³ газу, 500 л. дизпалива, 700 л. мазуту.

Пелети відрізняються економічністю та високою тепловою ефективністю при згорянні. При цьому пелети з Павловнії набагато екологічніші за інші дерев'яні породи. При спалюванні пелет з Павловнії від 10 до 50 разів нижче емісія CO₂, від 15 до 20 разів менше золи, практично повністю відсутня сірка у викидах.

Пелети вдвічі щільніші, ніж звичайні дерев'яні кульки та виробляють у 3 рази більше теплової енергії при згоранні (ККД – 96 %).

Через низький вміст вологи пелети з Павловнії важать менше, зменшуючи при цьому вартість транспортування. Пелети не набирають вологи з повітря, тому їхня висока теплопровідність не знижується з часом.

Листя павловнії відрізняється достатньо великим розміром, враховуючи високий приріст зеленої маси павловнії, її можна використовувати для виробництва біогазу.

Біогаз – це джерело відновлюваної енергії, екологічно чисте та економічно доцільне. Це газ, що складається, в основному з метану (CH₄), діоксиду вуглецю (CO₂) та в невеликих кількостях інших газів. Виникає при ферментації органічних речовин в анаеробних умовах (без кисню). Біогазові установки – це установки, де відбувається прискорена форма природного циклу розкладання.

Маючи великий розмір листя, при розкладанні виробляється більше основних газів, з яких безпосередньо складається біогаз, порівняно з органічним матеріалом пропонуваним іншими типами рослин, що робить павловнію ідеальним продуктом для отримання цього біопалива [5].

Інше застосування Павловнії – це використання її як сировини для біоетанолу. Американські вчені розробили нову технологію отримання етанолу, засновану на комбінуванні термохімічного та біотехнологічного методів, внаслідок якої з однієї тонни сухої деревини витягується 511 літрів етанолу. Це є причиною назвати це дерево «Нафтовою свердловиною».

Одержання біоетанолу можливе двома способами:

- За допомогою спеціальних мікроорганізмів, які поїдають целюлозу павловнії, переробляють її та виділяють етанол.
- За допомогою ензимів, які розкладають целюлозу павловнії до отримання біоетанолу.

Другий спосіб використовують частіше тому що він легший за реалізацією і дешевше за вартістю.



Висновки. Проаналізувавши все вищесказане, можна підсумувати, що павловнія – це матеріал майбутнього, паливо нового покоління. Воно просте у виробництві та повністю безпечне для навколишнього середовища.

Через свій швидкий ріст та інші позитивні якості павловнію як бізнес це відмінна і прибуткова ідея.

Переваги для довкілля:

- ✓ павловнія може вирощуватися на бідних поживними речовинами та забруднених ґрунтах шляхом інтенсивного землеробства;
- ✓ відбувається очищення ґрунтів, забруднених внаслідок екологічних катастроф;
- ✓ поглинає велику кількість CO₂;
- ✓ запобігає ерозії ґрунту.

Створення плантацій, швидко зростаючих дерев, у поєднанні з інноваційними технологіями вирощування дерев в павловнії може стати важливою частиною політики економії ресурсів і вирішення проблем, пов'язаних із споживанням енергії, без ризику для навколишнього середовища.

Література:

1. Iesipov O. V. Prospects for growing energy crops as a factor influencing the development of bioenergy. Materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference "Alternative energy sources, energy saving and ecological aspects in the agricultural sector", May 25-26, 2021. Kharkiv: KhNTUSG, 2021. P. 35-37.

2. Filipova, L. M., Matskevych, V. V., Karpuk, L. M., Stadnyk, A. P., Andriievsky, V. V., Vrublevsky, A. T., Krupa, N. M., & Pavlichenko, A. A. (2019). Features of rooting pavlovnia in vitro. Egyptian Journal of Chemistry. Vol. 62. 2nd International Conference on Agricultural Biosystems (AGRIBIOS 2019) on 28,29 September 2019 in GBC meeting and conference room, Deira, Dubai, UAE. P. 57–63. DOI: <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2019.18333.2127>.

3. Jakubowski, M. (2022). Cultivation potential and uses of pavlovnia wood: A review. Forests. Vol. 13. No 5. Art. No 668. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13050668>.

4. Janjić, Z., & Janjić, M. (2017). Pavlovnia, its characteristics and use value. Knowledge-International Journal. Vol. 20. No 5. P. 2387–2392.

5. Matskevych, O. V., Filipova, L. M., Matskevych V. V., & Andriievskiy V.V. (2019). Pavlovnia: naukovopraktychnyi posibnyk: Bila Tserkva: BNAU. 80 s. (in Ukrainian).

Abstract. The paper considers the issue of the prospects of growing pavlovnia as an energy raw material. Pavlovnia is used in addition to the industry, also in the energy industry in the form of pellets, also as a raw material for the production of alternative biofuels. Taking into account the European Union's experience in growing energy crops, as well as the properties of pavlovnia, in terms of rapid biomass renewed growth, combined with innovative wood growing technologies it, can be an important part of policy resource saving and solve problems related to the use of energy, without risk to the environment.

Key words: energy crops, pavlovnia, biofuel, pellets, biogas plants, bioethanol, biodiesel, heat transfer, heat energy source

Стаття відправлена: 18.02.2023 г.

© Єсіпов О. В.



UDC 621.798:620.197.3

MATERIAL SCIENTIFIC ASPECTS OF CARDBOARD CONTAINERS

МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ АСПЕКТИ КАРТОННОЇ ТАРИ

Kolianovska L./Коляновська Л.

C.t.s., senior lecturer / К.т.н., старший викладач

ORCID: 0000-0002-8645-3515

Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine) /

Вінницький національний аграрний університет (Вінниця, Україна)

Abstract. *Almost all enterprises that use corrugated cardboard boxes for packaging their products face problems of transportation and storage. The main factor influencing the quality of cardboard during operation is the deformation and destruction of materials under the action of applied forces - these are the main phenomena that determine the mechanical behavior of materials.*

The paper analyzes the main properties that form the quality of corrugated cardboard. The fiber of technical cellulose is characterized by six properties. These are the average fiber length, the ability to compact in the wet state, the actual strength of the fiber, the cohesive ability, the coarseness of the fiber and the ability to grind.

We also conducted a study on the effect of humidity on corrugated board samples. The strength properties of corrugated board samples were determined and the effect of humidity on them was studied.

Attention is focused on the evaluation of the influence of fiber properties on the cardboard property. This property is defined as the "critical" fiber length.

Recommendations are proposed to reduce the likelihood of corrugated cardboard consumer claims related to the collapse or subsidence of corrugated boxes during stacking.

Key words: *corrugated board, humidity, properties, strength.*

Introduction.

Before the military invasion of the "country on the swamps" into the territory of sovereign Ukraine, the production of paper and cardboard consisted of about 200 enterprises.

Thus, Kharkiv region - 41; the city of Kyiv - 31; Dnipropetrovsk region - 18; Zhytomyr region - 16; Lviv region - 11; Odesa region - 9; Volyn region - 8; Kyiv region - 8; Zaporizhzhya region - 6; Rivne region - 5; Ivano-Frankivsk region - 5; Kirovohrad region - 4; Kherson region - 4; Kherson region - 4; Khmelnytsky region - 4; Transcarpathian region - 4; Cherkasy region - 3; Ternopil region - 3; Luhansk region - 3; Donetsk region - 3; Crimea - 2; Chernivtsi region - 2; Chernihiv region - 1; the city of Sevastopol - 1; Vinnytsia region - 1; Mykolaiv region - 1; Sumy region - 1.

Paper and cardboard production in Ukraine in January-May 2022 decreased by 44.7% compared to the same period in 2021 - to 198.2 thousand tons, corrugated packaging - by 57%, to 126.9 million square meters. This was reported by Interfax-Ukraine with reference to the data of the UkrPapir Association [11,27].

According to her, if in January this year, the production of paper and cardboard lagged behind the last year's by 4.6%, and corrugated boxes exceeded by 3.5%, then in January-March, taking into account the suspension of many enterprises with the beginning of the full-scale war of the Russian Federation against Ukraine, the production of these products decreased by 44% and 54%, respectively.



At the same time, some enterprises that stopped their work at the beginning of the war have not resumed it - in particular, due to the destruction in Rubizhne, the largest Ukrainian producer of corrugated packaging - Rubizhne Cardboard and Packaging Plant - has stopped working (but its "daughter" in the Kyiv region - Trypillia Packaging Plant - is working) [11,27].

Also, the damaged Rohan Cardboard Factory in Kharkiv region has not resumed work (and does not plan to).

Among the producers of corrugated packaging, Dunapak Tavria LLC, located in Kherson region (produced boxes for Nova Poshta), is also not working, and Mena Pak in Chernihiv region, according to the information available to the Association, was able to resume work in May.

After three months of forced downtime in May, Zmiiv Paper Mill (Kharkiv region) reported the production of 1863 tons of recycled paper against 783 tons in May-2021.

At the same time, after the February suspension of production, the industry leader Kyiv Cardboard and Paper Mill (the second after Rubizhne PPM in corrugated packaging production last year), Zhydachiv Pulp and Paper Mill (Lviv region) and Izmail Cardboard Mill (Odesa region), Malyn Paper Mill and Paper-Mal (Zhytomyr region) have been operating since March.

In addition, according to the statistics, the Lviv Cardboard and Paper Company did not stop working, keeping the production of paper and cardboard in January-May at the level of the previous year, Poninkiv (Khmelnysky region) and Lutsk (Volyn region) cardboard and paper mills, Kokhavyn paper mill (Lviv region) [11,27].

According to the production method, European and Ukrainian producers divide cardboard and cardboard products into four main types.

1. Cardboard of SBB class (SBS). This type of cardboard is a coated cardboard made of bleached pulp, which we have repeatedly mentioned in our articles. SBS class cardboard consists of 2-4 layers. The main feature of this type of cardboard is the presence of two coated layers. Thus, the front and back sides of SBB cardboard are always chalked. This type of cardboard has not only an average specific weight, but also the best printing properties. Such features and properties directly affect the scope of application of this type of cardboard. SBB cardboard is the main packaging material for the manufacture of luxury products in various industries. For example, SBS cardboard is actively used for packaging expensive perfumes, tobacco products and many types of food products and dishes.

2. SUB class cardboard. SUB class cardboard is a pure cellulose chalkboard made of unbleached cellulose. An interesting feature of this type of cardboard is its use in the manufacture of kraft paper, which is also a common packaging material as such. Due to this, the front side of the SUB class cardboard has a brown color. The main field of application of this type of cardboard is the packaging of frozen and chilled products, detergents, various types of shoes, toys and sets for children, as well as various food products.

3. FBB class cardboard. FBB cardboard is a boxboard or chrome-erzac cardboard designed primarily for the manufacture of containers. This type of cardboard consists of 3, rarely 4 layers. The upper and lower layers are made of



bleached pulp, and the middle layer is made of mechanical pulp, which we described in previous articles. The coating is applied, of course, on the top layer and usually has a white or cream color. The material used for the manufacture of this type of cardboard must have a low specific gravity and a high index of cruelty. Due to this, FBB cardboard is used in the confectionery, pharmaceutical and tobacco industries, as well as for packaging frozen and chilled products.

4. WLC class cardboard. The last type of cardboard that will be discussed today. WLC cardboard is a cardboard consisting of 3-4 layers containing at least 60% waste paper. The top layer usually consists of the highest quality waste paper. WLC cardboard is used to make packaging for shoes, toys, children's construction sets, etc. Also, some companies use WLC cardboard to make packaging for frozen or chilled products and some types of cereals. However, it should be noted that according to sanitary standards, this type of cardboard should not be allowed to come into direct contact with food due to the raw materials used in its manufacture. But the use of food stretch film for packaging products makes it possible to comply with sanitary standards and use WLC cardboard for packaging products [1-5, 31].

The evolution of cardboard manufacturing technology continues. Every year there are new know-how related either to material science and improving the quality of cardboard, or to other technical aspects of the production of this type of packaging material.

Main text. The main factor influencing the quality of cardboard during operation is the deformation and destruction of materials under the action of applied forces - these are the main phenomena that determine the mechanical behavior of materials.

Cardboard is a complex object for the analysis of properties, because, possessing only its inherent features, it shows at the same time the features of polymeric and composite material.

The basic ideas about the structure of cardboard can be reduced to the following:

- cardboard is a set of fibers that differ significantly in length and have differences in thickness; characteristic is the difference in strength of individual components of the structure (fibers) and the bonds between the fibers. This determines the whole range of physical and mechanical properties of cardboard as well as all fibrous pulp and paper materials;

- specific features of the mechanical behavior of cardboard are determined by the flexibility of the fibers, which is determined by many factors. Thus, the structure of the paperboard is determined primarily by the properties of the fibers and the bonding forces between the fibers.

The paper structure is composed of fibres and fibre fragments (it should also be remembered that other components of the paperboard composition, including fillers and various chemical additives, will influence the properties of the paperboard). Fibre material is the most heterogeneous of these components. It is believed that the fiber of technical pulp can be characterized by six properties [17-25]. These are the average fiber length, the ability to compact in the wet state, the fiber strength itself, the cohesive ability, the fiber coarseness and the grindability. In our opinion, the property defined as the "critical" fiber length is useful to evaluate the influence of fiber properties on the paperboard property.



The fibrous semi-finished product after cooking contains a mixture of fibrous and non-fibrous elements of different lengths: from 0.1 to 5.0 mm and more. For the most part, these are tracheids - in the mass of coniferous wood, libriform and vessels - from deciduous wood. Elements of non-fibrous nature are present in the form of parenchymal cells, epidermal cells, fragments of fibers, vessels and are small in size particles, about 0.1 mm, which are partially removed with washing water during the washing of fibrous semi-finished products. Losses of small particles depend on anatomical elements, mesh number and washing intensity.

The length of the fibers is determined under a microscope or with the help of other optical devices and expressed in millimeters by arithmetic mean or weighted average. The arithmetic mean length of fibers is determined by dividing the total conditional length of all fibers by their number. When determining the weighted average length, the mass fraction of fractions with different lengths is taken into account.

The properties of paperboard are largely influenced by fiber properties such as elastic modulus, twisting, bending and microcompression. As a rule, paper pulp fibers have a full range of these deformations. The difference between twisting and bending is that fibers during twisting are bent to a lesser extent, while during bending there are sharp changes in the direction of the fiber segment and a larger bending angle. Microcompression is understood as large sections of the fiber with a violation of the surface structure.

One of the most important indicators of paper-forming properties of fibrous semi-finished product is fiber thickness. This indicator depends both on the morphological structure of the wood and on the method of obtaining the WFP. The idea of the thickness of the fibers will give, on the one hand, the ratio of the cross-sectional area of the fibers and their lumens, on the other - the degree of their delignification. The measure of thickness is the thickness of the cell membrane. J. Clark proposed to determine the thickness of the fibers by the mass of the conventional unit of their length, in milligrams of absolutely dry fibers [17-25]. The range of fiber coarseness of different fiber semi-finished products is in the range from 7 to 30 mg more per 100 m.

An example of coarse fibers are fibers obtained from late wood with thick shells and small cavity. During processing, they retain their round shape, giving the paper sheet its looseness. An example of elastic fibers are fibers obtained from early wood with thin shells and a large cavity. Such fibers during processing take the form of ribbons, forming a dense sheet.

There is a high correlation between the content of late wood fibers and mechanical strength. It should be noted that longer fibers are almost always coarser, semi-finished products from hardwood have less coarse fibers than semi-finished products from softwood [17-25].

Strength of fibers. Plant fibers have high mechanical strength, which is not inferior in most cases to the strength of metal. The strength of fibers can be determined directly by the breaking force related to the breaking area. However, for cellulose fibers, such a definition is time-consuming. Indirectly, the strength of vegetable fibers can be judged by the zero-breaking length, i.e. the breaking length of



the paper obtained as a result of determining this indicator at zero distance between the clamps of the breaking machine. Zero breaking length is calculated in kilometers or meters. It is known that for hardwood pulp samples it is 4/10 and for softwood pulp samples 1/3 of the tensile strength of individual fibers [17-25].

The ability of the fibers to compact during the formation of a sheet of paper is also one of the most important vapor-forming properties. It determines the bound surface area of the fibers and the presence of air spaces between them and, consequently, the optical and strength properties of the paper.

The best characteristic of the ability of the fibers to compact is the density of the paper (the inverse value is the looseness). Density is calculated by the ratio of the mass of 1 m² of paper to its thickness, and is expressed in grams per centimeter cubed or kilograms per meter cubed. The main factors that determine this property are: the flexibility of the fibers, the thickness of their cell wall, the ability of the fibers to split into fibrils and acquire plasticity during the grinding process.

Grinding increases the flexibility and plasticity of the fibers, so as the degree of grinding increases, so does their ability to compact.

The bonding ability of the fibers is the most important factor in determining the strength of the paper sheet. Interfiber bonding forces are mainly characterized by hydrogen bonds, van der Waals forces and friction forces between fibers. The ratio between them is different and depends on the physical and mechanical properties of the fibers and the degree of their development during the grinding process. For example, in paper castings made from well-ground pulp, hydrogen bonds provide approximately 75% of the strength of all the bonds between the fibers, while in paper castings made from the same pulp not subjected to milling, they make up only 20%.

An important role in the formation of hydrogen bonds between the fibers is played by the surface tension forces of water, which pull thin and flexible fibers together and bring them into close contact with each other during the pressing and drying of the paper.

It is believed that the value of interfiber bonding forces is determined by the contact area between the fibers and the concentration of bonds on it or the specific bonding force per unit surface. The number of contacts between the fibers depends on the total length of the fibrous material in the sheet, the width of the fibers and their flexibility and does not depend on the length of the individual fibers. Cutting fibers during grinding, accompanied by their shortening, theoretically does not reduce the total number of contacts in the sheet, but only reduces the number of contacts of one fiber [28-32].

Nowadays, the method of determining the interfiber bonding forces proposed by Dr. J. Clark [17] is used.

The ability of fibrous semi-finished products to be milled. Grinding is one of the main operations in the preparation of paper pulp.

Its purpose is to give the fibrous semi-finished product a certain size of fibers in length and thickness, to provide the desired structure of the paper web and a certain degree of hydration, which largely determines the adhesion forces between them.

By changing the grinding mode: specific pressure, concentration and temperature of the mass, as well as the type of semi-finished products subjected to



grinding and grinding equipment, it is possible to obtain different properties of the manufactured paper. Variable grinding factors are widely used in production.

To compare the properties of different semi-finished products, grinding and casting are carried out under standard conditions. In domestic practice, it is customary to use a laboratory centrifugal grinding machine for standard grinding, and a Rapid-type machine for casting.

To characterize the milled pulp, the degree of grinding, the time spent on grinding to achieve a certain degree of grinding, and indicators of the main paper-forming properties are used. A good idea of the milled semi-finished product will give its specific surface, which is closely related to the properties of the fibers of the raw material and depends on the methods of obtaining the semi-finished product.

An important effect of milling is to increase the flexibility of the fiber. Sometimes this can occur as a result of reduced interchange. Strong compression of the fibers can improve the mechanical strength by forming a "bristle" on the surface of the fibers. The change of shape in twisted and curved structures improves the adhesion in suspensions and paper. At the same time, it complicates molding.

Mechanical processing of fibers during grinding often also changes their geometric structure. The chemical structure may also change.

Ultimately, these changes lead to the splitting of the secondary wall after the formation of breaks in it as a result of grinding. The crystal structure of the fibers may be disturbed as a result of processing and the angles of the microfibrils in the wall may change. This in turn affects the mechanical strength of the finished paper fibers.

Pulp and paper material cannot be manufactured unless there is a sufficiently high level of interfibre bonds between the fibres in the structure. Thus, weak interfibre forces - Van der Waals forces and hydrogen bonds, as well as friction forces - are of great importance in paperboard production.

Van der Waals forces. The existence of these weak forces of attraction in the structure of the cardboard can be explained by two reasons: first, it is the presence of a permanent dipole in the molecules, that is, in the case of any polarized molecules in the case of simple electrostatic attraction of two dipoles, weak interaction forces arise; second, the interaction of dipole - induced dipole. The latter arises due to polarization of molecules by dipoles of surrounding molecules.

Hydrogen bonding. It is known that a hydrogen atom can simultaneously interact with two negatively charged atoms. In this case, the hydrogen atom serves as a bridge between the two particles and can be considered as the cause of the bond between the atoms. This bond is weaker than the covalent bond, but its presence affects many physical and structural properties of the material.

Mechanical adhesion of fibers (friction forces). The forces acting between tangent solids, generally speaking, are not applied along the normal to the interface of the tangent bodies. The acting force P , as a rule, is directed at an angle to the surface of contact of the fibers. The magnitude and direction of the acting force depends not only on the elastic properties of the fibers, but also on the state of the fiber surface (its roughness).

In the structure of the cardboard there is dry and liquid friction. The nature of



the velocity dependence for friction forces between two solids and friction forces between a solid and a liquid (or gas) is completely different. The most significant difference in this difference is absolutely different behavior of these and other forces at low speeds.

Namely, in the case of a collision of solids, no matter how small the velocity of their relative motion, the frictional forces always have a finite value and retain a finite value when the relative velocity of motion falls to zero. In the case of a solid body colliding with a liquid or gas, the frictional and drag forces of the medium also decrease with decreasing velocity and fall to zero when the velocity of the body relative to the medium falls to zero [10, 12-16].

Micro- and macrostructure of cardboard Any material consisting of several substances is a system, the strength of which largely depends on three factors: adhesion, autogenesis and cohesion.

Adhesion is the adhesion of two dissimilar liquids or solids. It is caused by the molecular forces of adhesion of dissimilar molecules in the surface layer of the contacting bodies (phases). These forces are called adhesion forces.

Autogenesis is the adhesion of homogeneous bodies. Unlike adhesion, self-adhesion is due to the molecular bonding between the surfaces of homogeneous bodies in contact. The forces of adhesion in this case are called the forces of autogenesis.

Cohesion is the adhesion of substance molecules to each other in the body volume. Cohesion is caused by a variety of forces: Van der Waals forces, chemical, hydrogen bonds, etc. These forces are called cohesive forces.

The nature of deformation of the material.

According to rheological properties, materials are divided into three main classes: linear-elastic, elastic-plastic and viscoelastic [10, 12-16].

A material is called linear-elastic if only instantaneous elastic deformations develop in it during the application of mechanical stress until critical conditions are reached. The material is called elastic-plastic if during its loading, along with instantaneous elastic deformations, instantaneous plastic deformations also develop. Depending on the volume of material involved in plastic deformation, there are two types of elastic-plastic materials - pseudoelastic and plastic. A material is called pseudoelastic if during its loading instantaneous elastic deformations develop in the main volume, and instantaneous plastic deformations are localized only near the tops of existing defects (cracks), and the length of the zone of these deformations is small compared to the length of the cracks. If, when mechanical stress is applied, instantaneous plastic deformations develop throughout (or almost throughout) the entire volume, then such a material is considered plastic. Plastic materials also include materials, during deformation of which intense plastic deformations develop at the tops of existing defects, and the length of the zone of these deformations exceeds 20% of the original crack length. Elastic-plastic materials, in which plastic deformations have the character of viscous flow (Eyring model), are called elastic-ecoplastic, or simply viscoplastic.

If during the loading of a material, at any load, along with instantaneous elastic deformations, inelastic deformations develop in it, the value of which depends on the



duration or speed of

load, then such materials are called viscoelastic. Depending on whether the relationship between stress and strain rate is linear or nonlinear, linear and nonlinear viscoelastic materials are distinguished.

A viscoelastic material is considered to be ideal nonlinear-elastic, if during the application of mechanical load only reversible deformations develop in it - instantaneous elastic and time-dependent viscoelastic (elastic) deformations, and the sessile deformation of such a material occurs under the action of constant stress, then the reversible viscoelastic component of the deformation tends over time to some limit (equilibrium) value (Kelvin-Feucht model). In an ideal linear viscoelastic material, under the action of an applied stress, along with reversible (instantaneous elastic and time-dependent elastic) deformations, irreversible deformations of the ideal (Newtonian) flow also develop, which, under the action of a constant load, grow unlimitedly with time (Maxwell's model). In a nonlinear viscoelastic material, the flow deformations are Newtonian. The most complex is the behavior of the material in which viscoelastic deformations develop before or after the yield point or in the entire load range, depending on the duration or rate of loading.

The nature of the material fracture.

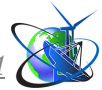
According to the nature of fracture, materials are usually divided into brittle and non-brittle. When assigning a material to a particular group, it is taken into account how the material element breaks when a crack passes through it. In general, each element of the material can be in one of the following states: solid, torn or intermediate between them.

A material is called ideally brittle if, upon reaching critical conditions, its elements adjacent to the surfaces (banks) of the crack immediately go from a solid state to a torn one. In this sense, ideally brittle can be a material with any deformation properties: linear-elastic, elastic-plastic, viscoelastic, etc.

A material is called non-brittle if, when it is loaded, the destruction of the elements adjacent to the crack banks occurs in two stages. At first (at loads less than critical), the elements of the material pass from a solid state to some intermediate state characterized by a local violation of continuity. For example, due to the accumulation of damage during the plastic deformation of metals and alloys, craze formation in polymers, multiple cracking of the matrix and its peeling from the filler in fibrous composite materials, etc. At the second stage, the elements of the material, upon reaching critical conditions, pass from an intermediate to a completely destroyed state. In this sense, materials with any rheological properties can also be non-brittle (viscous).

Phase structure of materials.

According to the phase structure, materials in crack mechanics are divided into homogeneous and heterogeneous. Homogeneous materials are characterized by homogeneity of composition and identity of properties throughout the volume. In contrast, heterogeneous materials consist of two or more phases, each of which is a homogeneous part of the system, separated from the other parts by a clearly defined interface and differs from them in composition and properties. According to their rheological properties, both homogeneous and heterogeneous materials can be linear-



elastic, elastic-plastic or viscoelastic, and according to the nature of destruction - brittle or viscous.

Special methods of measuring resistance to deformation.

Consumer properties of corrugated cardboard and boxes depend primarily on the type and combination of properties of the source materials.

This fact is beyond doubt, but the question of what properties of paper and cardboard and the indicators that characterize them should be used is not unambiguously solved in world practice.

The analysis of international and regional systems of standards and technical specifications of foreign producers of containerboard allows us to conclude that there are significant differences in approaches to assessing the quality of linerboard and fluting, especially in comparison with the requirements of national standards [8,9].

Table 1 - Nomenclature of physical and mechanical characteristics of packaging cardboard

Quality Characteristics	Methods of Determination:			
	DSTU	ISO	TAPPI	SCAN
1. Weight 1m ² , g (Grammage)	13199	535	T410	P6
2. Thickness, mm (Thickness)	27015	534	T411	P7
3. Bursting strength, kPa (Bursting strength)	13525.8	2758	T403	P24
4. Water absorbency of Cobb ₆₀ , g/m ² (Cobb sizing)	12605	535	T441	P12
5. Ring crush force in transverse direction, N (RCT, Ring crush test)	10711	-	T818 T822	P24
6. Moisture % (Moisture test)	13525.19	287	T412	P4
7. Short span compression resistance, kN/m (SCT - Short span compression test)	-	9895	T826	P46
8. Gurley air permeability (porosity), s/100ml (Air permeance, Gurley)	-	5636/5	T460	P19 P53
9. Tensile strength (rigidity), N/m (Tensile strength (tensile stiffness - S _t))	-	1924/2	T494	P38
10. Stiffness at bending (stiffness bending - S _b): <i>static method</i> <i>resonance method</i>	-	2493 5629	- T535	P29 P64
11. Strength in the z-direction (energy Internal bond strength), J/m ² or J, (Internal bond strength)	-	-	T883 T541	P80
12. Dsnisson surface strength, wax composition number	-	-	T459	-

The mechanical strength of linerboard and corrugating paper is a crucial factor that determines their ability to be processed on a corrugating machine and the subsequent consumer properties of corrugated cardboard containers. It is important to



note that the behavior of materials under mechanical stress consists of the ability to deform (stiffness during tension and bending, viscoelastic properties, stability, etc.

There are two types of loads on boxes: dynamic, due to impact during free fall, and static, caused by compression and tension during stacking and movement [12-16].

With the improvement of loading and unloading operations, the likelihood of dynamic loads has decreased significantly, while the requirements for the rigidity of containers have increased sharply. This is due to the fact that the capacity of vehicles and warehouses tend to increase by increasing the height of the stack.

A classification of products and products was developed according to their ability to perceive external static and dynamic loads with the subsequent extension of the established requirements to cardboard containers and cardboard for flat layers. According to this classification, the entire range of paperboard is divided into two types: rigid - for products that are not able to perceive external mechanical loads, and strength - for products that are able to perceive such loads without affecting their consumer properties.

Indicators of mechanical properties of corrugated cardboard components are regulated by national standards. Mechanical properties of paper for corrugating according to DSTU 7798:2021 Paper for corrugating. Technical specifications. are characterized by absolute resistance to punching (P); resistance to end compression of the corrugated sample in the transverse direction, determined by the CCT method (corrugated crush test); resistance to in-plane compression determined by the CMT method (concora medium test); specific tensile strength. The properties of the linerboard in accordance with DSTU GOST 9142:2019 are expressed by two mechanical indicators - absolute resistance to pressing (P) and the destructive force during compression of the ring in the transverse direction, determined by the RCT (ring crush test) method.

Analysis of standard methods used by European consumers to characterize the mechanical properties of linerboard and fluteboard shows that they have undergone significant changes. For example, some consumers refuse to use the crush resistance to evaluate the mechanical properties, preferring indicators that characterize the compressive strength in the transverse direction, although the importance of a high level of crush resistance is not denied.

Since there is a close correlation between the compression resistance along the plane of the outer and corrugated layers and the compression resistance of corrugated board and boxes, the compression resistance of the original components is undoubtedly one of their most important properties.

Therefore, it is necessary that the methods used to measure this property really make it possible to determine the compression resistance independently of other material properties.

Various materials are now used for transportation, storage and identification of products - from traditional cardboard and glass to innovative polypropylene with a barrier layer. In accordance with the requirements of Art. 7 p. 7 of the Technical Regulation of the Customs Union of the EU "On food safety" (TR CU 021/2011), the materials used for the manufacture of packaging of products in contact with food



must comply with the requirements of the sectoral technical regulation TR CU 005/2011 "On packaging safety".

When choosing cardboard for food products, one should take into account not only the features of cardboard as a packaging material and its environmental friendliness, but also the ability to resist deformation. In addition, if the cardboard is used for storing frozen and chilled products, milk, etc., the surface of the cardboard should have a special coating that resists the absorption of fat, moisture and other substances. In the case of storage of baked goods, confectionery, pizza, the cardboard must be breathable, i.e. not chalky [1,2].

Corrugated cardboard is one of the most popular materials for the production of packaging. The main components of corrugated cardboard are two types of materials: cardboard for flat layers of corrugated cardboard (liner); paper for corrugation (fluting). The flat layers of corrugated cardboard fix the position of the corrugated layer, work for compression, tension, resistance to punching.

One of the reasons that contributes to the destruction of corrugated boxes in almost 100% of cases is high humidity. An increase in relative humidity entails an increase in the humidity of corrugated cardboard, accompanied by a decrease in all strength characteristics: end compression resistance, delamination resistance, bending rigidity, tensile strength.

The strength properties of corrugated cardboard were determined on a universal testing machine IP 5158-0,5 in accordance with DSTU ISO 3781:2005 Paper and cardboard. Determination of tensile strength after immersion in water (ISO 3781:1983, IDT). To determine the effect of humidity on the strength properties, the samples were pre-exposed in conditions of 95% relative humidity for different times.

The results of determining the end compression resistance of conditioned samples and samples exposed to 95% humidity for 15 days are shown in Table 2.

Exposure of corrugated cardboard in conditions of high relative humidity leads to a decrease in the resistance to end compression of all samples to 56-74%. During the operation of filled boxes in high humidity conditions, made of corrugated cardboard, due to the loss of strength properties, the stack may collapse. This leads to large losses and costs for both the corrugated cardboard manufacturer and its consumer. Therefore, for strength during stacking, the box must have sufficient compression resistance.







Conclusions. So, cardboard is a set of fibers that differ significantly in length and have differences in thickness; characterized by a difference in the strength of individual components of the structure (fibers) and the bonds between the fibers. This determines the whole range of physical and mechanical properties of cardboard, as well as all fibrous pulp and paper materials; specific features of the mechanical behavior of cardboard are determined by the flexibility of the fibers, which is determined by many factors. Thus, the structure of the paperboard is determined primarily by the properties of the fibers and the bonding forces between the fibers.

To reduce the likelihood of corrugated cardboard consumer claims related to collapse or sagging of corrugated boxes during stacking, the following recommendations should be taken into account: - maintaining the relative humidity in warehouses within 60-70%; - periodically check the quality of papers and cardboards



for compliance with the certificate presented by the manufacturer; - control the quality of the corrugated cardboard produced with the issuance of a corresponding certificate to the consumer.

Table 2 - Resistance to end compression

№	End compression resistance, kN/m		Decrease in end compression resistance, %	General view of the sample
	specimens after conditioning	samples after 15 days exposure at 95% RH		
Г-1	3,3	0,9	73	
Г-2	3,4	1,3	62	
Г-3	3,4	1,5	56	
Г-4	3,3	1,4	56	
Г-5	3,4	0,9	74	
Г-6	3,4	1,0	70	

References.

1. Anon. Waste Reduction and Recycling Initiative / PUBL-IE-041, Wisconsin Department of Natural Resources, Madison, 1993. - №2
2. Anon. Information from Internet Web-Site of American Forest & Paper Ass. Available [online] <http://www.afandpa.org>. 1998.
3. Analysis of Waste Paper Recycling and Disposal Option in Germany / Gottsching L., Hamm U., Platzer E., et al. Towards a Sustainable Paper Cycle, IIED, London, 1996. 185 p.



4. Carbonnier S. Paper Recycling and the Waste Paper Business in Japan. Towards a Sustainable Paper Cycle, IIED, London, 1996. - 113 p.
5. C. Moss. Tappi J, 1997. № 4 p.69.
6. Gorazdova V., Dernova E. Influence of fibrillation and fiber shortening induced by refining on the softwood pulp. Colloquium 592 Deformation and damage mechanisms of wood-fibre network materials and structures. KTH, Stockholm, Sweden, 2017. C. 24-26.
7. Derzhavna sluzhba statistiki Ukrayini [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu : <http://www.ukrstat.gov.ua>.
8. DSTU 8401:2015 Karton. Pakuvannya, markuvannya, transportuvannya i zberigannya.
9. DSTU GOST 9142:2019 Yashiki z gofrovanogo kartonu. Zagalni tehnicni umovi (GOST 9142-2014, IDT).
10. Dunska A. R. Innovacijnij mehanizm rozvitku pidpriyemstv celyulozno-papierovoyi promislovosti: avtoref. dis. ... d-ra ekon. nauk : 08.00.04. Nac. tehn. un-t Ukrayini "Kiyiv. politehn. in-t im. Igorya Sikorskogo". Kiyiv, 2018. 45 s.
11. Inter-faks [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu : <https://interfax.com.ua/>
12. Furdichko O. I. Efektivnist resursno-virobnichogo potencialu lisogospodarskogo kompleksu. Lviv, 1995. 287 s.
13. Fiziko-mehanicheckie svoystva kartona, obrabotannogo biomodificirovannym glyutenom. / I.V. Zaharov i dr. Lesn. zhurn. 2017. № 6. S. 135-144.
14. Ganiyeva A.R. Formuvannya innovacijnoyi strategiyi rozvitku pidpriyemstv celyulozno-papierovoyi promislovosti : dis... kand. ekon. nauk: 08.06.01. Nacionalnij tehnicnij un-t Ukrayini "Kiyivskij politehnicnij in-t". K., 2005. 250 ark.
15. Gorazdova V.V., Dernova E.V. Vliyanie mnogoslajnogo formovaniya na harakteristiki prochnosti, deformativnosti i treshinostojkosti kartona. Lesnoj zhurnal» 2017. № 6. S. 160–169.
16. Kolyada L.G., Tarasyuk E.V., Koshevaya A.O. Izuchenie vliyaniya vlazhnosti na prochnostnye svoystva gofrokartona. Aktualnye problemy sovremennoj nauki, tehniki i obrazovaniya. 2010. T. 1. № 1. S. 83-86.
17. Kibat K. Wochen bl.Papierfabr, 1996. № 14-15. 656 p.
18. Kibat K. Wochenbl. Papierfabr, 1998. №16. 742 p.
19. Libin F. I. Tendenciya rozvitku celyulozno-papierovoyi promislovosti yevropejskih krayin i integraciya CBP v yevropejskij rinok : tezi dopovidej. Lviv : Svit, 2007. 198 s.
20. Metody ocenki kachestva komponentov gofirovannogo kartona / A.V.Gurev i dr. Cellyuloza. Bumaga. Karton. 1996. №7-8. S.16- 18.
21. Pishhevaya upakovka: vidy, tehnologii proizvodstva i tendencii razvitiya otrasli [Elektronnyj resurs]: <https://www.kp.ru/guide/pishchevaya-upakovka.html>
22. Povyshenie ustojchivosti kartona k stareniyu propitkoj biomodificirovannym glyutenom / I.V. Zaharov i dr. SPb.2018. Vyp. 222. S.216-227.
23. Papermaking Science and Technology. Boo 7. Recycled Fiber and Dcinking. Book editor Gottsching L., Pakarinen H. Jyvaskyla, Finland, 2000. 649 p.
24. Regulirovanie vlagoprochnosti kartona obrabotkoj biomodificirovannym glyutenom. / I.V. Zaharov i dr. Lesn. zhurn. 2018. № 5. S. 181-190.



25. Sominskij V. Z. Investitsiyi v svitovij celyulozno-paperovij promislovosti. Celyuloza. Papir. Karton. H., 2008. 45 s.
26. Shvorob G.M. Celyulozno-paperova promislovist Ukrayini [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu: <http://ukrexport.gov.ua/ukr/prom/ukr/25>.
27. Ukrpapir. [Elektronnij resurs]. Rezhim dostupu : <http://www.ukrpapir.org/>
28. Vliyanie reologicheskikh svojstv biomodifitsirovannogo glyutena na prochnostnye i deformacionnye svojstva kartona / I.V. Zaharov i dr. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie. 2018. №3 (39). S. 60-67.
29. Vliyanie uslovij pressovaniya na formirovanie struktury i fiziko-mekhanicheskikh svojstv flyutinga / V.V. Gorazdova i dr. Lesnoj zhurnal» 2016. № 5. S. 177-188.
30. Vliyanie fibrillirovaniya i ukorocheniya volokon pri razmole na harakteristiki prochnosti, deformativnosti i treshinostojkosti cellyuloznyh materialov / Gorazdova V.V. i dr. Lesnoj zhurnal. 2018. № 2. S. 109-118.
31. Waste Management / Bilitewski B., Hardtle G., Marck K., et. ai. // Springer - Verlag, Berlin, 1994.-699 p.
32. Zaharov I.V. Razrabotka plenochnyh materialov na osnove biomodifitsirovannogo glyutena dlya laminirovaniya kartona. Zhurnal «Derevoobrabatyvayushaya promyshlennost». 2018. № 3. S. 56-61.

Анотація: Практично всі підприємства, що використовують для пакування своєї продукції ящики з гофрованого картону, стикаються з проблемами транспортування та складування. Головним фактором впливу на якість картону в процесі експлуатації є деформація та руйнування матеріалів під дією прикладених сил - це основні явища, що визначають механічну поведінку матеріалів.

У роботі проведено аналіз основних властивостей, що формують якість гофрокартону. Волокно технічної целюлози характеризується шістьма властивостями. Це середня довжина волокна, здатність до ущільнення у вологому стані, власне міцність волокна, когезійна здатність, грубість волокна і здатність до розмелювання.

Також нами проведено дослідження із впливу вологості на зразки гофрокартону. Визначено міцнісні властивості зразків гофрокартону та вивчено вплив вологості на них.

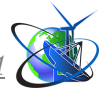
Акцентовано увагу на оцінку впливу властивостей волокна на властивість картону. Ця властивість, визначається як «критична» довжина волокна.

Запропоновано рекомендації для зменшення ймовірності виникнення претензій споживача гофрокартону, пов'язаних з обваленням або просіданням гофроящиків під час штабелювання.

Ключові слова: гофрокартон, вологість, властивості, міцність.

Стаття відправлена: 17.01.2023 г.

© Коляновська Л.М.



УДК 620.186

REGULARITIES OF SPHEROIDIZATION OF CARBIDES IN HIGH-SPEED STEELS DURING ANNEALING**ЗАКОНОМІРНОСТІ СФЕРОЇДИЗАЦІЇ КАРБІДІВ ШВИДКОРІЗАЛЬНИХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕСІ ВІДПАЛУ****Movchan O.V. / Мовчан О.В.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-1613-7784

Chornoivanenko K.O. / Чорноіваненко К.О.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-1613-7784

*Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Lazaryana 2, 49010
Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Лазаряна 2, 49010*

Анотація. Мета. Встановлення закономірностей зміни структури швидкорізальної листової сталі Р9 в залежності від параметрів відпалу. Встановлення закономірностей процесів сфероїдизації та коалесценції дослідної сталі в процесі відпалу. Визначення механізмів процесів сфероїдизації та коалесценції дослідної сталі в процесі відпалу при різних параметрах.

Методика. Дослідження проводилися в лабораторних умовах шляхом відпалу зразків заданого хімічного складу при різних параметрах. Фазові та структурні перетворення, що виникають при обробці, вивчали з використанням методів оптичної металографії.

Результати. Досліджено структурні зміни при високотемпературному відпалі листової сталі Р9 з метою усунення характерної карбідної неоднорідності. Встановлено закономірності формування структури при різних температурних параметрах та тривалості. Вивчено механізм процесу сфероїдизації та коалесценції у процесі відпалу. Визначено, що сфероїдизація та коалесценція в процесі відпалу призводить до збільшення ступеня легуваності твердого розчину, що призводить до покращення теплостійкості швидкорізального інструменту.

Наукова новизна. В роботі показана можливість повного усунення карбідної неоднорідності листової швидкоріжучої сталі, використовуючи двоступеневий відпал.

Практична цінність. Показана можливість отримання листового швидкорізального інструменту з якісно вищим рівнем властивостей в поєднанні зі зниженням енергетичних ресурсів.

Ключові слова: сфероїдизація, коалесценція, карбідна неоднорідність, високотемпературний відпал, швидкорізальний інструмент

Вступ. Традиційна технологія виробництва швидкорізального інструменту, що основана на литті та гарячій деформації злитків має ряд відомих недоліків, до яких можна віднести карбідну неоднорідність та низький коефіцієнт використання матеріалу [1, 2].

Зниження карбідної неоднорідності призводить до значного збільшення стійкості та продуктивності швидкорізального інструменту. Карбідну неоднорідність можна знизити за допомогою охолодження при кристалізації, подрібнюючи литу структуру [3], використовуючи модифікування [4, 5], механічну та ультразвукову вібрацію [6], використовуючи складні об'ємні схеми деформування [7]. Авторами [8, 9] визначено, що розподіл евтектичних карбідів стає більш рівномірним, якщо пластична деформація злитка проходить після високотемпературного відпалу.



З метою подрібнення евтектичних карбідів та отримання рівномірного їх розподілу зливки швидкорізальної сталі відпалюють, проковують на пресах, прокатують на сортових станах. Для отримання листа із сталі Р9 нагріті до 1000...1050 °С зливки прокатують за 5...11 проходів до мінімальної товщини 1,4...1,7 мм. Прокатка проводиться з одним або двома проміжними нагріваннями. Після охолодження листів у стопі вони зазнають звичайного відпалу – нагрівання 12 годин та 6 годин, витримка при 880 °С або ізотермічний відпал – 2-годинна витримка при 880 °С і охолодження з піччю до 740...750 °С, витримка 4 години і охолодження на повітрі або у воді.

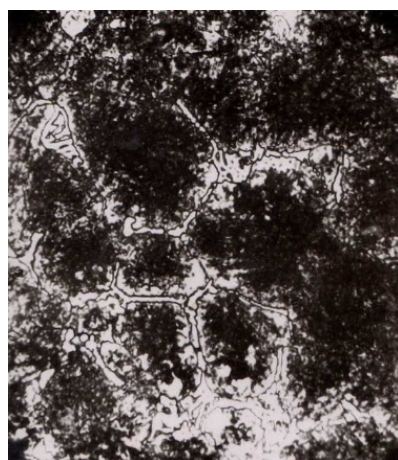
Для отримання листів мінімальної товщини 1,2...0,8 мм застосовується холодна прокатка. Потрібна товщина листа досягається холодною прокаткою за 5...8 проходів. Потім проводиться відпал листів за режимом: нагрівання до 720 °С, витримка 6 годин і повільне охолодження з піччю.

З викладеного вище видно, що виробництво тонколистової сталі марки Р9 за існуючою технологією є виключно трудомістким та малопродуктивним процесом. Тому неодноразово виникала необхідність розробити карбідну сітку лише відпалом, минаючи багаторазову прокатку. Для цього було запропоновано застосувати високотемпературний швидкісний відпал.

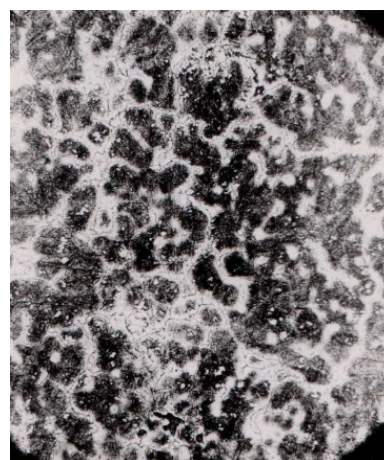
Матеріал і методика досліджень. Матеріалом для досліджень послужили зразки сталі Р9 наступного хімічного складу: 0,92% С, 9,2% W, 4,1% Cr, 2,4% V, 0,6% Mo, 0,2% Co, 0,2% Mn, 0,1% Si, 0,15% Ni, 0,01% S, 0,013% P, залишок Fe. Високотемпературний відпал зразків здійснювався при температурах 950 °С, 1000 °С, 1100 °С, 1200 °С і 1250 °С з витримками 25, 50, 75 і 100 хвилин.

Структурні перетворення, що відбуваються під час обробки, вивчали з використанням методів оптичної металографії.

Результати досліджень та їх обговорення. Структура сталі Р9 після формування листа складається з первинних дендритів аустеніту, неоднорідних за величиною, частково перетворених на мартенсит і троостит, а також тонкої карбідної або ледебуритної сітки в проміжках між ними (рисунки 1 а, б), твердість складала 500 НВ.



а



б

Рисунок 1 – Мікроструктура зразків у початковому стані: а – $\times 900$, б – $\times 500$

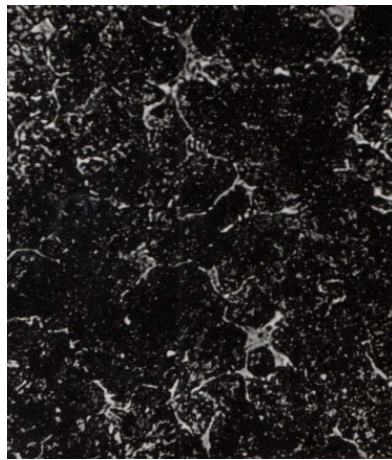


У всіх зразках металографічно виявлено характерну для литої структури неоднорідність по товщині листа. Від поверхні вглиб листа поширюються зони з транскристалітною будовою. Між зонами з транскристалітною будовою виявляється зона рівновісних кристалів. Розташована між первинними дендритами аустеніту сітка карбідів біля поверхні листа успадковує транскристалітну будову. У середині листа у зоні рівновісних кристалів спрямована орієнтація відсутня.

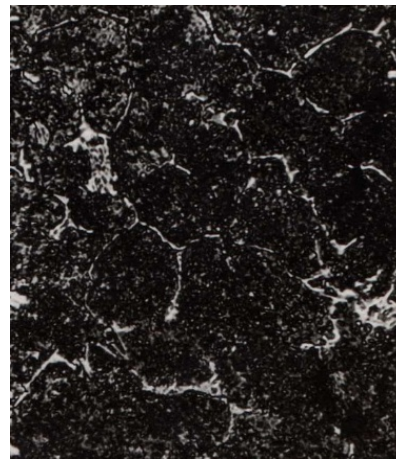
Структура, що була отримана після формування листів, характеризується більш дрібнозернистою будовою і рівномірним розподілом карбідів, ніж у злитку.

Мікроструктури зразків, відпалених при 950 °С, представлені на рисунках 2 а, б, свідчать про те, що металева матриця являє собою дендрити аустеніту, що частково перетворився на мартенсит; карбідна складова розташовується в міждендритних ділянках.

Ізотермічна витримка при температурі 950 °С сприяє частковому розчиненню карбідів. Евтектична сітка дещо потоншується і розривається (рисунок 2 а). Збільшення витримки при високотемпературному відпалі від 25 до 100 хвилин не дає помітних змін структури (рисунок 2 б). Тризонна будова із зоною стовпчастих кристалів зберігається. В результаті деякого розчинення карбідної складової ступінь легованого твердого розчину підвищується.



а



б

Рисунок 2 – Мікроструктура зразків, відпалені при температурі 950 °С:

а – протягом 50 хв; б – протягом 100 хв; ×900

Відпал при температурі 1000 °С з витримками від 25 до 100 хвилин також викликає часткове розчинення сітки евтектичних карбідів, які дещо сфероїдизуються, але характер їхнього розташування в зоні рівновісних кристалів зберігається (рисунок 3).

Відпал при температурі 1000 °С не знищує стовпчастості. Карбідна складова займає міждендритні ділянки, наслідуючи їх спрямоване розташування у транскристалітних зонах. В результаті високотемпературного відпалу при 1100 °С кількість евтектичних карбідів зменшується, але вони потовщуються (рисунок 3 б).



Збільшення температури відпалу до 1200 °С призводить до подальшого дроблення сітки евтектичних карбідів та їх розчинення, внаслідок чого концентрація легуючих елементів у твердому розчині підвищується.

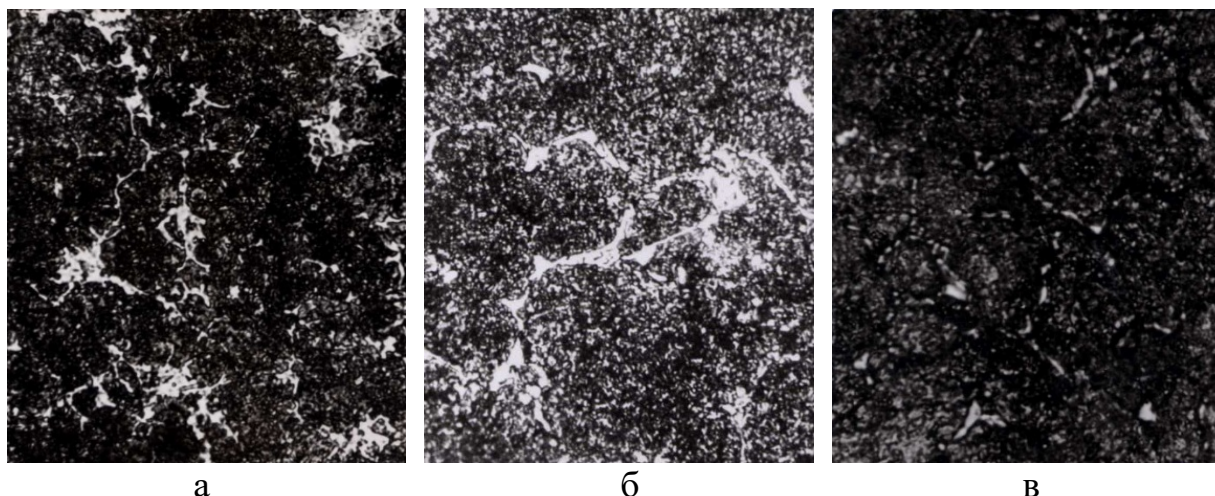


Рисунок 3 – Мікроструктура відпалених зразків: а – при температурі 1000 °С протягом 75 хв, б – при температурі 1100 °С протягом 50 хв, в – при температурі 1200 °С протягом 50 хв; $\times 900$

Відпал при температурі 1200 °С сприяє подальшій сфероїдизації карбідів. Місцями вони розташовуються у вигляді ланцюжків за межами колишніх аустенітних зерен, місцями евтектичних карбідів взагалі немає (рисунок 3 в). Така картина спостерігається при всіх ізотермічних витримках, починаючи від 25 хвилин і закінчуючи 100 хвилинами.

Найцікавіші результати отримані після відпалу при температурі 1250 °С. Ретельне мікродослідження зразків, що пройшли відпал протягом 25...100 хвилин, свідчить про повне завершення процесу сфероїдизації. На жодному із зразків не було виявлено залишків карбідної сітки. Евтектичні карбіди набули форми рівновісних дрібних кристалів, що рівномірно розташовуються в обсязі всього сплаву (рисунок 4). Одночасно зі сфероїдизацією відбувається і коалесценція карбідів та їх розчинення у твердому розчині, що призводить до підвищення ступеня його легованості.

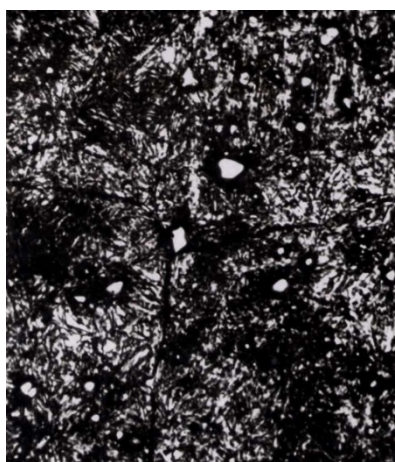


Рисунок 4 – Мікроструктура зразка, відпаленого при температурі 1250 °С протягом 25 хв; $\times 900$



Швидкорізальна сталь належить до самозагартовуваних сталей. При охолодженні від високих температур на повітрі вона набуває високої твердості (356...215 НВ). Така сталь має низьку пластичність. У зв'язку з цим усі зразки після високотемпературного відпалу піддавали низькотемпературному відпалу при температурі 750 °С. Накладення низькотемпературного відпалу від 10 до 25 годин сприяє ще більшому розвитку сфероїдизації евтектичних карбідів та їх подальшій коалесценції, а також сфероїдизації та коалесценції евтектоїдних карбідів. (рисунки 5 а, б, в; 6 а, б, в і 7 а, б, в).

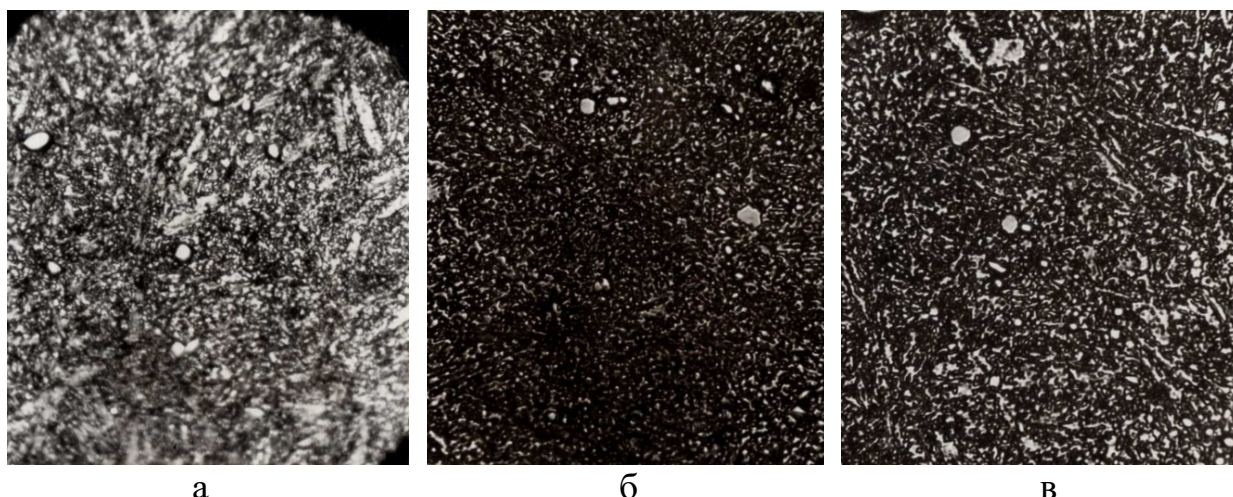


Рисунок 5 – Мікроструктура зразка, відпаленого при температурі 1250 °С протягом 25 хв з наступним низькотемпературним відпалом при температурі 750 °С:

а – протягом 10 год, б – протягом 15 год, в – протягом 25 год; ×900

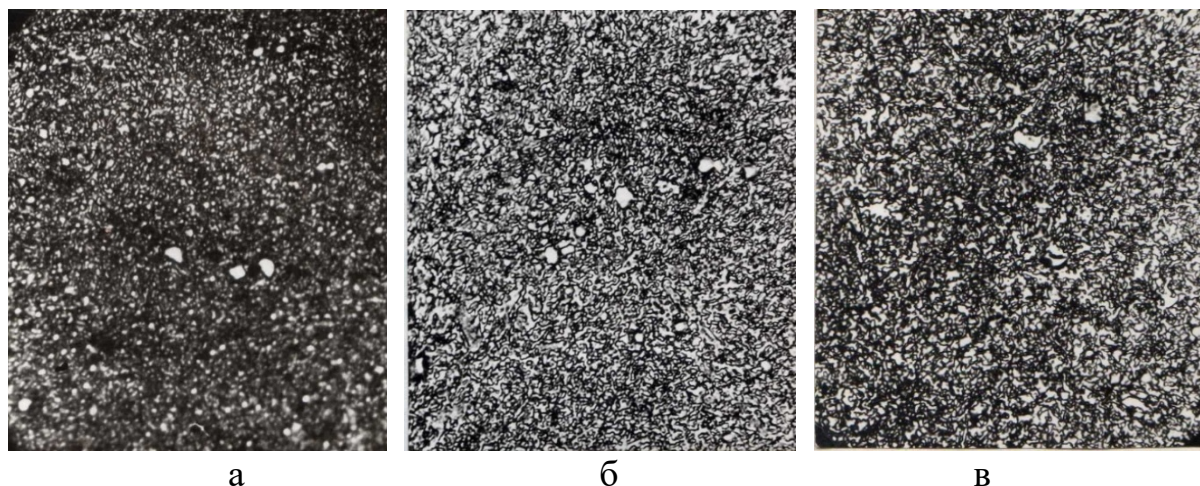


Рисунок 6 – Мікроструктура зразка, відпаленого при температурі 1250 °С протягом 50 хв з наступним низькотемпературним відпалом при температурі 750 °С:

а – протягом 10 год, б – протягом 15 год, в – протягом 25 год; ×900

Таким чином, відпал при температурах 1250 °С + 750 °С з різними витримками призводить до отримання структури сталі з рівномірним розподілом карбідів. Евтектичні карбіди у вигляді дрібних рівновісних



кристалів рівномірно розподілені в обсязі всіх зразків, нагадуючи зоряне небо (рисунок 8 а). Для порівняння наведено структуру сталі Р9, виготовленої за традиційною технологією (рисунок 8 б).

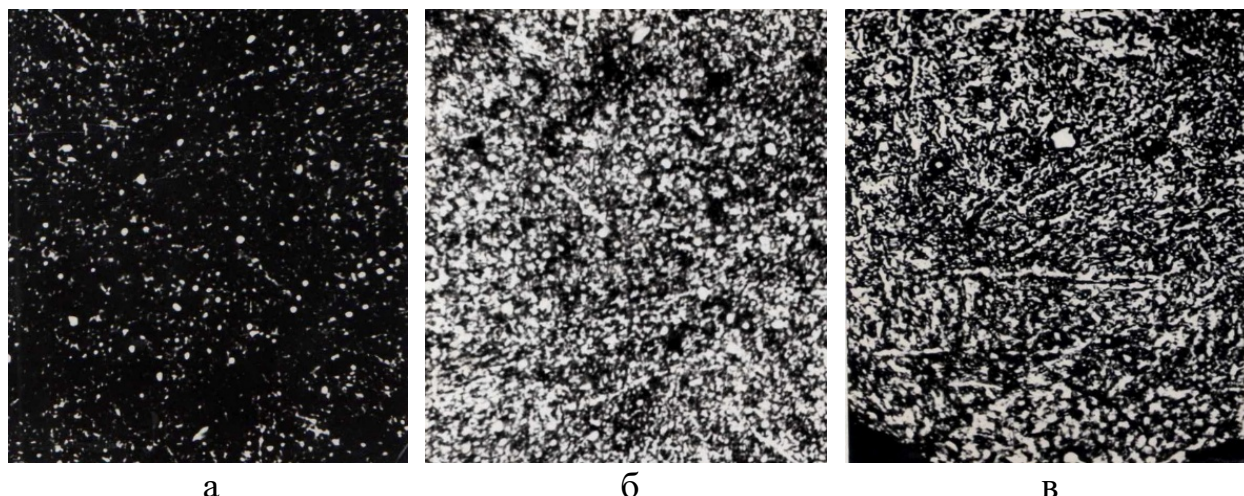


Рисунок 7 – Мікроструктура зразка, відпаленого при температурі 1250 °С протягом 100 хв з наступним низькотемпературним відпалом при температурі 750 °С:

а – протягом 10 год, б – протягом 15 год, в – протягом 25 год; ×900

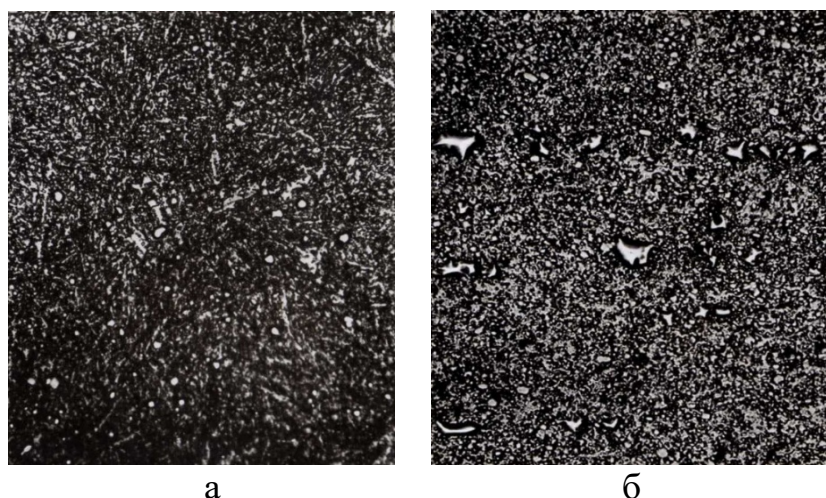
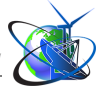


Рисунок 8 – Мікроструктура сталі Р9: а – лита структура після відпалу при температурі 1250 °С протягом 25 хв + 750 °С 20 год, ×500; б – отримана за стандартною технологією, ×600

Таке зіставлення призводить до висновку, що в дослідних зразках карбіди значно дрібніші, однорідніші за величиною, мають більш рівновісну форму і більш рівномірно розподілені в матриці.

Розглянемо більш детально процес сфероїдизації карбідів. Сплав, в якому кристали карбідної фази мають вигляд пластин, має, внаслідок великої міжфазової поверхні, підвищену вільну енергію. Якщо температура сплаву досить висока, то пластини поступово перетворюються на рівновісні включення. Незначна сфероїдизація, як вказувалося, спостерігається вже після відпалу при 950 °С (рисунок 2). Швидкість сфероїдизації збільшується з



підвищенню температури зазвичай настільки ж, як і швидкість дифузії компонентів у сплаві. З одного витягнутого включення може утворитися одне рівноважне включення, але може відбуватися поділ пластини на кілька частин, що спостерігається в зоні рівноважних і стовпчастих кристалів (рисунок 3).

Якщо в твердому розчині є нерівноважне включення карбідної фази, то кривизна міжфазової поверхні буде неоднаковою. Ця різниця кривизни міжфазової поверхні призводить до хімічної неоднорідності твердого розчину. Концентрація вуглецю та легуючих елементів у вістрі пластини більша, ніж у плоскій границі розділу. Створюється перепад концентрацій. Досить тривала ізотермічна витримка при високих температурах призводить до дифузійного перенесення атомів вуглецю та легуючих елементів від вістря до плоскої границі. При цьому біля плоскої границі розчин збагачується вуглецем і легуючими елементами і стає пересиченим. В результаті ділянки з більшою кривизною поверхні розчинятимуться в ненасиченому розчині, а ділянки з меншою кривизною – зростатимуть за рахунок виділення карбідної фази з пересиченого твердого розчину.

У реальних пластинчастих кристалах є безліч місцевих дефектів (скупчення домішок, внутрішні напруги, мікротріщини і т.п.), які можуть збільшити розчинність окремих ділянок кристала, що і призводить до поділу його на окремі частини. Тобто сфероїдизація призводить до дроблення сітки евтектичних карбідів на окремі пластини і перетворення їх у рівноважні кристали округлої форми.

Підвищення температури від 950 до 1250 °C зі збільшенням часу витримки викликає прискорення сфероїдизації і, якщо при температурах 950, 1000 і 1100 °C незалежно від часу витримки спостерігається ледь помітна сфероїдизація (рисунок 2, 3), то при 1250 °C процес сфероїдизації повністю завершується за 25 хвилин витримки (рисунок 4).

Для реалізації процесу коалесценції необхідна неоднорідність у розмірах карбідної фази. Наявність карбідних частинок різної величини призводить до того, що твердий розчин, пересичений великими частинками, є ненасиченим дрібними. Внаслідок цього дрібні, до того ж ще термодинамічно менш стійкі карбідні частинки розчиняються. Створюється концентраційний градієнт, виникає дифузійний потік атомів від місць із більшою концентрацією (дрібні частки) до місць із меншою концентрацією (великі частки).

З аналізу експериментальних даних, процес коалесценції після відпалу при 950 і 1000 °C не спостерігається. В результаті високотемпературного відпалу при 1100 °C, як зазначалося вище, число евтектичних карбідів зменшується, вони потовщуються (рисунок 3 б), що може бути пояснено перебігом процесу коалесценції.

Підвищення температури сильно прискорює дифузію, отже, і коалесценцію, як дифузійний процес. Тому високотемпературний відпал при 1250 °C призводить до формування мікроструктур, наведених на рисунках 5...7.

Таким чином, «розсіпання» сітки евтектичних карбідів і отримання в кінцевому рахунку рівноважних кристалів карбідної фази, кількість якої значно зменшилася в порівнянні з вихідною, пояснюється паралельними процесами:



сфероїдизацією, розчиненням і коалесценцією.

Низькотемпературний відпал призводить до зниження твердості 195...220 НВ. Зниження твердості слід пов'язувати головним чином зі сфероїдизацією та коалесценцією евтектоїдних карбідів, а також з подальшою сфероїдизацією та коалесценцією евтектичних карбідів.

У феритно-карбідній масі, що формується в процесі розпаду аустеніту, карбідна фаза диспергована у вигляді найтонших пластинчастих кристалів, когерентно пов'язаних з решіткою твердого розчину, що призводить до великих пружних викривлень решітки. Така суміш має максимальну твердість.

Коли евтектоїдних карбідів багато і вони дрібні, то навколо них виникає викривлення кристалічної решітки, що перешкоджає руху дислокацій і сталь набуває високу твердість, навіть коли карбіди мають форму рівновісних кристалів.

При малій кількості карбідних включень пластична деформація розвивається відносно безперешкодно, і властивості матеріалу характеризуються невисокою твердістю. Тобто процес коалесценції знижує твердість. Зі збільшенням витримки низькотемпературного відпалу ступінь коалесценції евтектоїдних карбідів підвищується, а також здійснюється подальша коалесценція евтектичних карбідів (рисунок 7).

В результаті високотемпературного відпалу при 1250 °C з витримками при температурі 750 °C протягом від 10 до 25 годин отримані мікроструктури сталі Р9 (рисунки 5...7, 8 а) з рівномірним розподілом рівновісних карбідів округлої форми, причому в дослідних зразках карбіди значно дрібніше, однорідніші за величиною, мають більш округлу форму і рівномірніше розподілені в матриці, ніж в сталі, отриманої за існуючою промисловою технологією (рисунок 8 б).

Висновки. Проаналізовано структурні перетворення, що відбуваються в процесі високотемпературного відпалу при температурах 950 °C, 1000 °C, 1100 °C, 1200 °C і 1250 °C з витримками 25, 50, 75 і 100 хвилин.

Високотемпературний відпал при температурі 950 °C сприяє частковому розчиненню евтектичних карбідів. Збільшення витримки до 100 хвилин не дає помітних структурних змін. Відпал при температурі 1000 °C також викликає часткове розчинення сітки евтектичних карбідів в процесі сфероїдизації. Збільшення температури відпалу до 1200 °C призводить до подальшого дроблення сітки евтектичних карбідів та їх розчинення. Відпал при температурі 1250 °C призводить до повного усунення карбідної неоднорідності.

Наступний низькотемпературний відпал при температурі 750 °C сприяє ще більшому розвитку сфероїдизації карбідів та їх подальшої коалесценції. Відпал при температурах 1250 °C + 750 °C призводить до отримання структури сталі з рівномірним розподілом карбідів.

Рушійною силою сфероїдизації є градієнт концентрації легуючих компонентів на вістрії та плоскій границі карбідних включень. Біля плоскої границі розчин збагачується вуглецем і легуючими елементами стає пересиченим. Ділянки з більшою кривизною поверхні розчинятимуться в ненасиченому розчині, а ділянки з меншою кривизною – зростатимуть за рахунок виділення карбідної фази з пересиченого твердого розчину.



Відпал, що викликає сфероїдизацію та розчинення карбідів, призводить до збільшення ступеня легованості твердого розчину, що також має поліпшити теплостійкість швидкокорізного інструменту.

Література:

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали // Москва: Металлургия, 1975. – 584 с.
2. Ревис И.А., Лебедев Т.А. Структура и свойства литого режущего инструмента // Ленинград: Машиностроение, 1972. – 128 с.
3. Fredriksson H. The mechanism of the peritectic reaction in iron-base alloys // Metal Science. – 1976. – Vol. 10. – P. 77-86.
4. Таран Ю.Н., Нижниковская П.Ф., Снаговский Л.М. Эвтектика в вольфраммолибденовой быстрорежущей стали // МиТОМ. – 1979. – №10. – С. 46-49.
5. Чаус А.С. Использование модификаторов на базе РЗМ для улучшения структуры и свойств литых вольфраммолибденовых быстрорежущих сталей // МиТОМ. – 2004. – №10. – С. 12-17.
6. Халлач И.С., Гончаров В.М. Влияние частоты следования импульсов при лучевой обработке на стойкость инструмента из быстрорежущей стали // Новые материалы и технологии термической обработки металлов. – Киев, 1985. – С. 31-32.
7. Гегузин Я.Е. Диффузионная зона // Москва: Наука, 1979. – 344 с.
8. Мошкевич Л.Д., Курасов А.Н., Евлампиева Н.Е. Изменение состава и строения эвтектических карбидов при нагреве быстрорежущих сталей // МиТОМ. – 1979. – №6. – С. 41-44.
9. Таран Ю.Н., Нижниковская П.Ф., Гришина О.Н., Демченко Г.Ф. Карбидное превращение в литой стали Р6М5 при высокотемпературной обработке // МиТОМ. – 1976. – №11. – С. 37-40.

Abstract. Purpose. Establishing patterns of changes in the structure of the high-speed sheet steel depending on the annealing parameters. Establishing regularities of the processes of spheroidization and coalescence of the research steel in the annealing process. Determination of the mechanisms of spheroidization and coalescence of research steel during annealing at different parameters.

Methodology. The study was carried out in laboratory conditions by annealing of samples of a given chemical composition at various parameters. The phase and structural transformations that occur during processing were studied using optical metallography.

Findings. Structural changes during high-temperature annealing of sheet steel P9 were studied in order to eliminate the characteristic carbide heterogeneity. The regularities of the formation of the structure under different temperature parameters and duration have been established. The mechanism of the spheroidization and coalescence processes during the annealing was studied. It was determined that the spheroidization and dissolution of carbides in the process of high-temperature annealing leads to an increase in the degree of alloying of the solid solution, which leads to an improvement in the heat resistance of the high-speed cutting tool.

Scientific novelty. The possibility of complete elimination of carbide inhomogeneity of sheet high-speed steel using two-stage annealing has been shown.

Originality. The possibility of obtaining a sheet high-speed cutting tool with a qualitatively higher level of properties in combination with a reduction in energy resources has



been shown.

Key words: *spheroidization, coalescence, carbide heterogeneity, high-temperature annealing, high-speed cutting tool*

Стаття відправлена: 15.02.2023 р.
© Чорноіваненко К.О.



UDC 631.365:633.85

ECHOLOGY AND TECHNIQUE OF GRAIN DRYING

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА СУШІННЯ ЗЕРНА

Kolianovska L./Коляновська Л.

C.t.s., senior lecturer / К.т.н., старший викладач

ORCID: 0000-0002-8645-3515

Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine) /

Вінницький національний аграрний університет (Вінниця, Україна)

Abstract. The article provides a detailed review of technologies and techniques of grain drying. Attention is paid to the transformation of the agrarian industry during the war.

One of the main problems of providing quality grain is its storage. Along with promising methods of grain preparation for storage, special attention is paid to the method of infrared irradiation as one of the physical methods of food processing. With the use of infrared radiation, the duration of heat treatment is significantly reduced due to the lack of thermal resistance of the boundary layer of the product to the radiant flux, the energy of which is directly absorbed by the surface of the raw material particles. At the same time, infrared radiation is actively absorbed by water contained in the product, but is not absorbed by the fabric of the product that is dried or heat treated.

Key words: drying, grain, infrared radiation, humidity, power, soybean, rapeseed.

Introduction.

Drying of grain, as a technological component, has long been known as a process that prevents spoilage of grain that has not been processed and it was necessary to bring it to a stable state for long-term storage.

The war in 2022 also made its adjustments to the grain storage process in Ukraine. This year, the Agrotransformation 2022 project was launched. In the conditions of waiting for the opening of ports, overcrowded elevators, or the risk of damage to elevators during massive shelling, high storage costs, and the establishment of favorable prices for farmers for grain and oilseeds, polymer sleeves as a means of storing grain have become increasingly necessary and popular. Therefore, along with the classical methods of grain preparation for storage, new approaches and technologies are emerging.

But, despite the universality of new methods, the process of stabilization of moisture in grain, necessary for storage of grain crops, remains problematic. This is inextricably linked to the need for continuous improvement of the technology of basic operations of post-harvest grain processing and, above all, drying, since it is this final operation that determines the quality of preservation of the harvested crop.

Analysis of recent research and publications. Freshly harvested grain (grain heap from under combine harvesters) is a colloidal capillary-porous body consisting of dry matter, water and air. In grain, as in any living organism, there are various life processes, including respiration. Important factors determining the intensity of biological and biochemical processes in grain are its temperature and humidity. At higher humidity and temperature, the respiration process is enhanced, and as a result, the intensity of heat generation and mass loss increases [5,10,15]. The resulting "sources" of self-heating promote the growth of microorganisms, harmful insects, reduce the food quality of grain and cause seed spoilage.



But already at a grain moisture content of 14% and below, the grains are in a state of anabiosis, that is, their vital activity and respiration become minimal. Thus, the main purpose of drying is to remove excess moisture from the grain to increase its stability during further storage.

The main requirements for the drying process are to preserve and improve the technological quality of grain. During drying, grain properties should be fully preserved and, if possible, improved in accordance with its purpose: color, shape, appearance, viability, feed and food quality.

Reduction of grain moisture creates unfavorable conditions for the development and existence of pests. High temperatures applied with appropriate heating exposure are an effective measure for the destruction of pests.

Compared to other methods of grain disinfection (chemical, mechanical, etc.), the thermal method has significant advantages.

Thus, drying, which allows to store and process hundreds of thousands of tons of harvested grain annually, to improve its quality, is of great national economic importance. This determines the goal and objectives of further improvement of technology and technical means for drying grain.

Modern grain drying technology is based mainly on the method of thermal drying, when moisture is removed from the grain to its surface, and evaporates from the surface into the environment. That is, the method is based on the principle of using heat to convert water from liquid to gaseous state, which is associated with significant heat consumption.

The main parameters of the drying mode are the temperature and speed of the drying agent, the temperature (edge) heating of the grain in the drying chamber, the thickness of the grain layer in the direction of movement of the drying agent and the exposure of the grain heating (and cooling) process.

We will analyze the existing (recommended) drying modes, using modern technologies and approaches along with fundamental works [1-31].

For shaft grain dryers, single-stage and differentiated modes of drying wheat grain are provided, under which the temperature of the drying agent is set from 90 to 160°C (depending on moisture, and in differentiated modes - depending on fiber), which increases stepwise from the direction of grain movement in the shaft. As a result of the adopted ascending change in the temperature of the drying agent, the grain is slowly heated in the shaft, and its temperature reaches the limit value only at the end of the drying zone. Ascending and differential modes were substantiated by the need for gradual heating of grain to exclude "hardening" of grain. The recommended modes based on the dependence of biological changes during grain heating on humidity and time of thermal exposure were worked out. In the proposed modes, it was assumed to increase the heating of grain in the process of reducing its moisture content in accordance with the limit of "conditionally safe" temperatures. Thus, in the mode after the grain reaches a temperature of 50° C, a further gradual increase in its temperature to 70° C allows to increase the moisture yield of grain by 55 ... 79% [16]. It should be noted that from a thermodynamic point of view, increasing the initial temperature is always advisable, since it increases the thermal efficiency of the dryer [4, 9].



To increase the efficiency and productivity of shaft dryers, descending progressive modes have been developed, under which the grain is heated to 35...400°C at the end of 0.25 height of the drying zone of the shaft. A drying agent with a temperature of 170...190°C is supplied to this heating zone. It is established that after rapid heating of the grain, the change in its temperature in accordance with the edge temperature is achieved by reducing the heat flux, which for downward modes is carried out by reducing the drying temperature during the process to 120°C. At the same time, the grain does not "harden". But the increase in grain temperature with a decrease in its moisture content is quite complicated by the imperfection of the design of grain dryer shafts.

Reducing the amount of heat supplied to the grain in the direction of its movement can also be achieved by changing the speed of the drying agent and the thickness of the grain layer along the height of the shaft. The downward distribution of heat allows to reduce the exposure of grain heating and more fully meets the need for heat to remove moisture due to a decrease in the intensity of drying by the height of the shaft.

For shaft grain dryers, a pulse drying method has been developed, which is based on the alternation of heating and cooling of grain (or grain storing). This made it possible to increase the temperature of the drying agent to 150...210°C. The pulse method significantly intensifies drying and increases the thermal efficiency of the grain dryer.

With the introduction of the method of determining the quality criterion for drying grain (both seed and food) by germination, the introduction of "reduced" and softened drying modes began to prevent losses in grain quality. This led to a decrease in the productivity of grain dryers by 20% [19] and an increase in specific energy consumption.

From the above review it can be concluded that the main technological measures to improve the efficiency of grain drying are to increase the temperature of the drying agent and the time of grain residence in the shaft. The latter has a negative impact on productivity. In this case, the grain is heated to the "edge" temperature only after passing most of the drying zone of the shaft.

Based on experimental data on the significant influence of the material temperature on the intensity of its drying, it was determined that a radical measure to further intensify the drying process in shaft dryers is preheating, and the technical implementation of such a technique can be the development of such modes when the grain temperature reaches its maximum value at maximum speed and maintains it until the end of the dehydration process.

In studies [17, 22], a significant step dependence of the coefficient of moisture diffusion in grain on the heating temperature was obtained:

$$a_m = a_{mo} \left(\frac{T}{293} \right)^n, \quad (1)$$

where T - is the grain temperature;

a_{mo} - diffusion coefficient without heating;

$n = 8...18$ (depending on humidity).

Studies [15,22] have shown that preheating of grain in the "fast" mode allows to



reduce specific energy consumption for drying by almost 2 times; at the same time, heat consumption for preheating increases by 60%. When the heating temperature is increased to 120°C, energy saving is 20%.

It is proved in [19, 24] that a progressive direction in the development of grain drying in the near future should be considered the transition from traditional shaft grain dryers to high-performance units with intensive heating of wet (raw) grain, followed by drying in isothermal mode with partial grain recirculation. Recycling of such modes will increase productivity by 25...30%, reduce fuel consumption by 10% and electricity by 10...15%.

It is shown in [29, 31] that, for any method of convective drying, grain stacking is one of the progressive methods of energy saving during grain drying; moreover, the influence of stacking on reducing heat and energy costs is higher, the lower the moisture-release ability of grain.

Different variants of the grain drying process at step, "progressive" and high-speed modes have found a constructive design, which is associated with the reconstruction and modernization of shaft grain dryers.

Research results.

In the world practice of grain drying different ways of utilization of the spent drying agent are used.

Some foreign companies ("Behlen", USA) produce grain dryers, in which the waste heat carrier is used for preheating of grain; in this case it is possible to utilize up to 10% of all heat consumed, but the possibility of condensation of moisture in the grain, which must be evaporated again in the future, is not excluded. Condensation can be prevented by applying preheating of grain. The most common method of reducing the energy intensity of grain dryers is partial recycling of the coolant through its reuse. The effect of heat saving according to generalized data is up to 300 kcal/kg. The principle of recirculation is used by grain dryers of American companies "Berico", "Campbell", "Blount", "Blaine", French "Love", "Cominor". These are multi-stage (multi-storey) dryers operating in "increasing" temperature regimes: cold air entering the dryer is heated in the first zone, then fed to a special heat generator to increase its temperature to 70...90°C, after which the drying agent enters the third zone, and then again to the heat generator, from which it enters the first zone. This makes it possible to return 30...40% of air to the cycle, which saves 10% of heat.

It is widely practiced to connect dryers with almost complete return of heated air and classical dryers in series. The company "Cecil" offered a dryer with a "saving unit", which is a dryer with almost 80% return of the drying agent, and a utilizer of a classic dryer.

Well-known dryers of "Law" company (France) work with recycling of drying agent.

There are several options for using the spent drying agent:

- use as a heat carrier for heating fresh air in different types of utilization plants;
- recirculation of part of the exhaust air (mixing with fresh air or with combustion products and air).

The second method is much simpler and more economical, but leads to an increase in drying time and a decrease in dryer productivity.



Abroad (France, USA, Poland) there is a wide variety of technical solutions to this problem: with the help of heat recycling (company "Law") and reuse of the exhaust air at the bottom of the dryer with a temperature of 50 ... 60° C, which is fed to the upper part of the shaft, or to the furnace.

Depending on the method of using the secondary heat and the design of the dryer, it is possible to reduce energy consumption from 1419 to 1257 kcal per kg of evaporated moisture.

Thus, the energy saving of 419 kJ/kg of moisture gives the method of double passage of the drying agent through the grain layer. Fresh coolant with a temperature of 120°C is supplied to the lower zone, and the spent coolant in the lower zone is slightly saturated with a temperature of 60...65°C is supplied to the upper zone for drying grain.

More economical is the method of drying grain in two zones with two furnaces. The furnace of the upper zone additionally heats the exhaust air in the lower air zone (up to 50°C), and after passing the layer of wet grain, the air is saturated, its temperature drops to 45...50°C. This method allows to reduce fuel consumption by 25% and bring energy consumption to 3352...3562 kJ/kg of moisture. A similar effect can be achieved by reusing the heated slightly saturated air in the lower part of the dryer, which is sent to the furnace with a temperature of 60...70°C, or mixing it with the heated air coming out of the furnace heated to 110°C. Fuel saving in this case is 20%.

According to the company "Cecil" (France), the inclusion of additional "economy units" in two-storey dryers, which can completely return warm air, will bring fuel consumption to 2807...2891 kJ/kg of moisture (for corn at a moisture content reduction from 35 to 15%). The F1-43M-50 dryer requires 4034 kJ/kg of moisture when the moisture content of wheat grain decreases from 20 to 14%. Thus, the sequential combination of a dryer with almost complete air return and a classical dryer when using the "economy unit" will allow to achieve the minimum specific energy consumption.

In the USA, the use of shaft dryers with recirculation of the spent drying agent and cooling air has recently become widespread. According to companies, such dryers save 50% of fuel. There are also dryers with parallel flows of drying agent, which moves from top to bottom in the direct flow with the grain, and cooling air, which moves in the counterflow with the grain.

In the «Mand W 450p» shaft direct-flow dryer, the drying process is carried out in three stages. At the first stage, part of the drying agent is used to preheat the grain. In the next stage, the grain moves downwards in a direct flow with the drying agent. At the third stage, cooled air passes through the dry heated grain, taking away some of the heat. All the cooling air and about 60% of the spent drying agent circulates between the fan and the combustion chamber. According to the manufacturers, fuel consumption saving reaches 35%.

In the grain dryer of the company «Bentley» (England) atmospheric air after cooling the grain is fed to the mixing chamber of the furnace, where it is mixed with combustion products and then fed to the drying zone.

In the grain dryer of «Svenska Flaktfabriken» (Sweden) atmospheric air from



the grain cooling chamber is supplied to the steam heater of the second drying zone. At the exit from the second zone, the exhaust air is heated again and sent to the first zone of the dryer.

The well-known «Blant» dryers are equipped with a system of partial recirculation of the exhaust coolant and all the exhaust air in the grain cooler (CFR 10-60A dryer).

In the CFR 10-60A dryer, in addition to partial recirculation of coolant and air, there is also partial recirculation of grain and preheating of grain.

For rice drying, this company produces the SSR grain dryer, which uses preheating of grain conductively due to contact heat exchange by the drying agent exhausted in the lower zone with its intermediate heating. After heating, the grain is fed to the resting zone and then to the second drying zone, where it is treated with a fresh drying agent. After the cooling zone, the grain is again subjected to storing.

To reduce fuel consumption, «Omnium» (France) has improved the dryers. In the first drying zone, the thickness of the grain layer is reduced, which is processed by fresh coolant with a maximum temperature of 160°C, the temperature of the coolant is reduced in the course of grain movement to 110°C. The lower drying zone provides for the return of the spent coolant for recirculation. The air from the cooler is also reused.

"Law" company also offers dryers with recirculation of coolant and air cooling.

Dryers of SO.CO. company (France) belong to energy-saving equipment. Dryers are equipped with a system of recirculation and regeneration of coolants and air. In addition, they carry out heating (intermediate) of the coolant used in the lower zone.

The company "Flukt" (Finland) produces grain dryers, which contain drying, storing and cooling zones with multiple use of coolants, which allows to achieve heat consumption of 1200-1850 kcal per kg of moisture.

The "Behlen" dryer, applying the principle of reusable heat, becomes less efficient and more difficult to implement, as it requires additional heaters to heat them along the way.

The use of heat pumps for heating the drying agent instead of traditional installations (furnaces for burning liquid and gas fuels) can significantly improve the quality of the product, eliminate air pollution and utilize low-potential energy of thermal emissions from dryers. In addition, heat pumps make it possible to carry out heating and cooling of different process flows in one installation.

Air heating in the condenser of the heat pump reaches a temperature of 61-67°C, which allows to obtain a grain temperature of up to 43°C.

Experiments conducted in Switzerland during the drying of grain with a heat pump installation with a decrease in the moisture content of corn grain from 20 to 15%, revealed great energy efficiency: energy costs are reduced by 4 times compared to the operation of the dryer on liquid fuel.

When drying grain (up to 14%) of corn with a moisture content of 33.5% with a heat pump dryer, energy consumption is reduced by 40% (at a heated air temperature of 44°C).

When the dryer operates with a fully closed cycle, when the drying agent is heated by the heat of the exhaust coolant, the energy consumption for drying is



reduced to 71%.

The use of heat pumps in combination with solar collectors allows to increase the drying efficiency.

Reduction of fuel consumption by thermodynamic methods is possible mainly by reducing the heat emissions of the grain dryer (its grain drying part).

The method of infrared irradiation is one of the promising physical methods of food processing. The use of infrared radiation significantly reduces the duration of heat treatment, due to the lack of thermal resistance of the boundary layer of the product to the radiant flux, the energy of which is directly absorbed by the surface of the raw material particles. At the same time, infrared radiation is actively absorbed by water contained in the product, but is not absorbed by the fabric of the product that is dried or heat treated. Therefore, moisture removal is possible at low temperatures (40 ... 60°C), which makes it possible to maximize the preservation of vitamins, biologically active substances (BAS), natural (natural) color, taste and aroma of products that are subject to drying or heat treatment. It should also be borne in mind that radiation drying has the lowest specific energy consumption.

Although considerable attention is paid to the study and application of infrared radiation in various fields of technology, the introduction of this progressive method into the practice of food production is slow. The design of technological equipment under the condition of infrared energy supply is a rather complicated and time-consuming process, which is impossible without a developed methodological basis. The developed methods of calculation of certain types of IR installations cannot adequately describe a wide range of IR equipment and solve many types of problems arising in food processing.

For the installation with infrared irradiation of oil material, hardware and design features at the levels of functional and structural elements and functional and structural units are determined by the following conditions: firstly, they must provide (taking into account the initial technological factors of the processing object) the required level of activity of anti-nutrients and humidity; secondly, constructive solutions for the organization of infrared irradiation, providing the necessary energy and technological efficiency of the process.

A number of experimental studies were conducted to prove the effectiveness of using infrared radiation for drying oilseeds.

During the processing, the product is placed on a metal grate, under which there are generators of infrared radiation. The essence of the process of processing food raw materials in the field of infrared irradiation in an open working space is that electromagnetic waves from the radiation source penetrate the product to a depth of 2 mm and are partially or completely absorbed in it. In this case, electromagnetic energy is converted into thermal energy, which causes heating of the product. In addition, the product is heated convectively, i.e. by the hot air of the working space (175...350°C), and conductively - by the surface of the grate of the apparatus.

As a rule, the processing process in the infrared equipment consists of two stages: the first stage is the processing of the product at the maximum temperature of the infrared irradiation source until the formation of a browning crust on the surface of the product; the second stage is bringing the product to full readiness at a reduced



constant temperature of the generators. Reducing the temperature at the second stage is carried out by reducing the electrical power or increasing the distance of the product to the source of infrared irradiation. Design solutions for the layout of the IR lamp unit and the generators themselves ensure the achievement of uniform irradiation in accordance with the requirements of processing the corresponding oil-containing material, including the content of anti-nutrients.

The results of experimental studies conducted by us show that the reduction of product moisture from the involvement of an IR irradiator is effective. In addition, it was found that an increase in the specific loading of both crops to 7.5 kg/m^2 leads to an increase in moisture yield, and a further increase in the specific loading is inappropriate, because moisture extraction does not increase (when drying rapeseed), or, in general, decreases (when drying soybeans), which can be explained by the insufficient penetration of infrared rays into the entire loaded product (Figure 1).

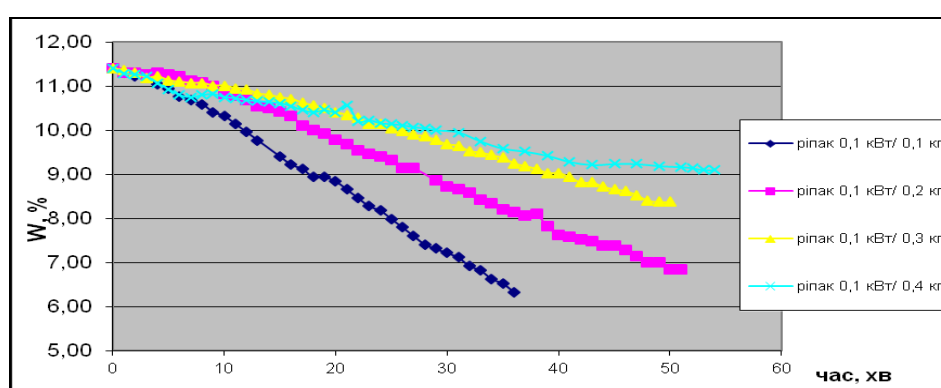


Figure 1 - Dependence of moisture reduction on loading for rapeseed at constant power.

From these graphs it can be seen that with a smaller load of products moisture is removed faster and more completely due to the good penetration of infrared rays into the grain layer.

According to the results of these studies, it was found that drying using an infrared irradiator at a power of up to 300 W leads to a gradual and complete evaporation of moisture, but it takes more time; in contrast, increasing the power to 400-500 W leads to faster moisture extraction, but the product is heated faster to the critical limit, which can significantly worsen its properties (Figures 2-5).

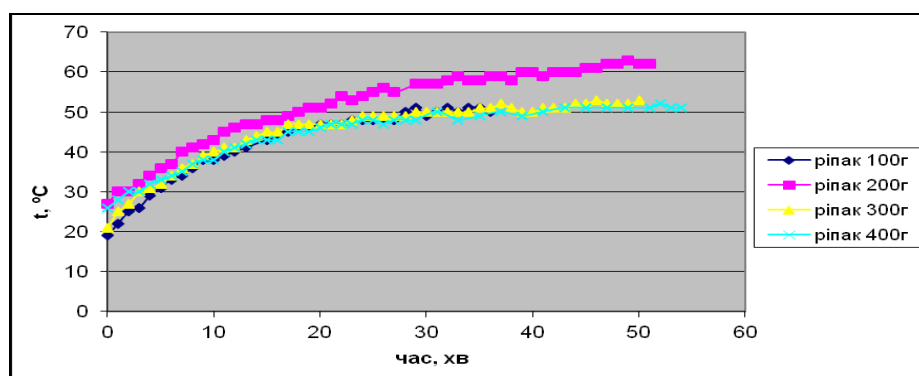


Figure 2 - Thermograms for rapeseed at variable input.

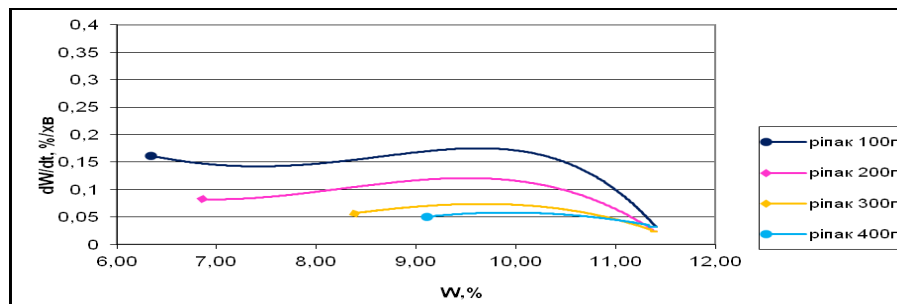
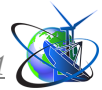


Figure 3 - Drying lines for rapeseed with variable loading.

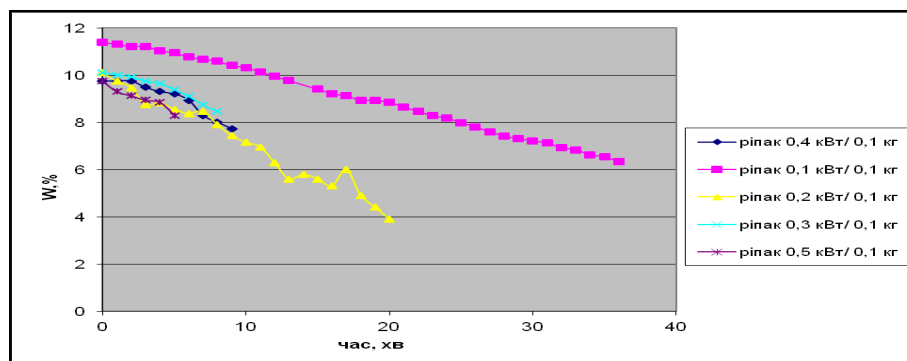


Figure 4 - Drying kinetics at constant chamber loading and changing the power of the infrared field for rapeseed grain.

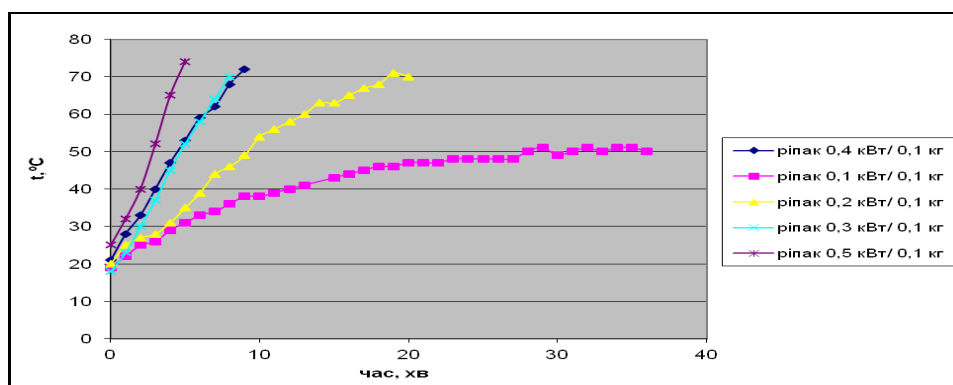


Figure 5 - Thermograms for rapeseed at variable power.

From these thermograms it can be seen that at a power of 100 W the heating of products is gradual, but it takes a lot of time. When using a power of 200 W, there is a sufficiently gradual heating with much less time. At a power of 300 W and above, the products are heated very sharply.

It is best to use a power of no more than 100 watts. At the same time, the moisture removal rate is high enough with no risk of product damage due to sharp heating to critical temperatures (Figure 6).

When drying soybeans with different loads, the tendency to increase the moisture yield and drying speed at lower loads was also preserved. At loads of 100 and 200g, the moisture yield rate is significantly higher than at 300 and 400 (Figures 7-9).

The graphs show that the fastest and less energy-consuming removal of moisture from soybeans occurs at a power of 400 W.

To study the influence of technological, energy and design parameters under IR irradiation on the efficiency of moisture removal from the product, an experimental



installation was created, the scheme of which is shown in Figure 10.

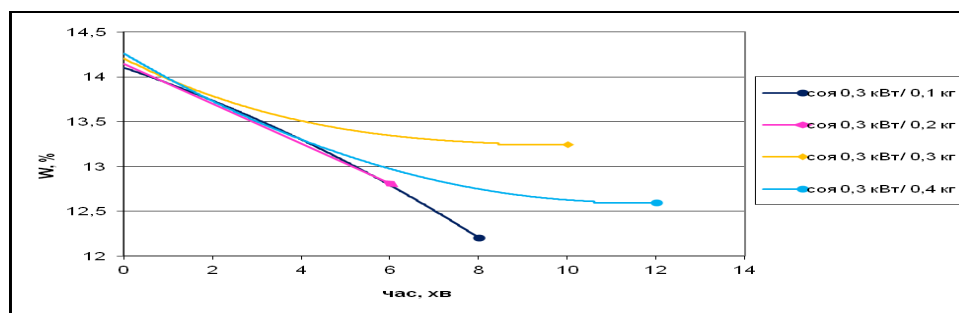


Figure 6 - Dependence of moisture reduction on loading for soybeans at constant capacity.

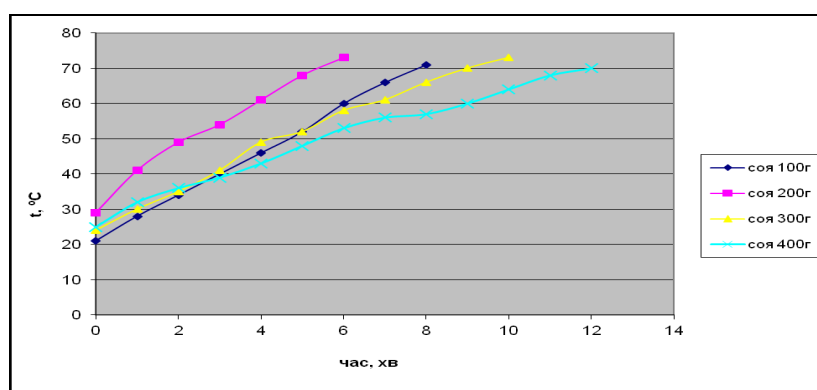


Figure 7 - Thermograms for soybean seeds at variable loading.

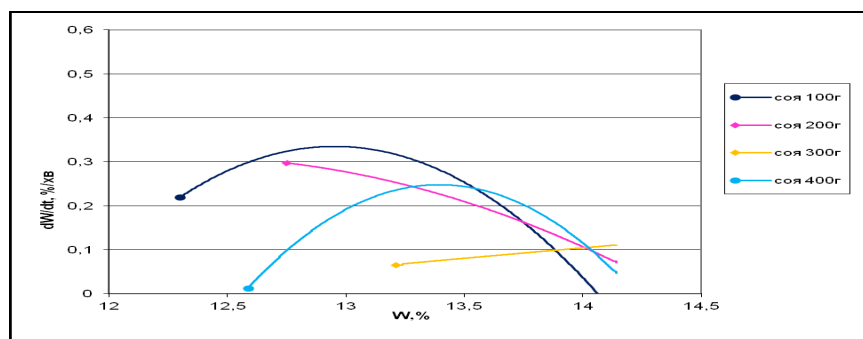


Figure 8 - Drying lines for soybean seeds with variable loading.

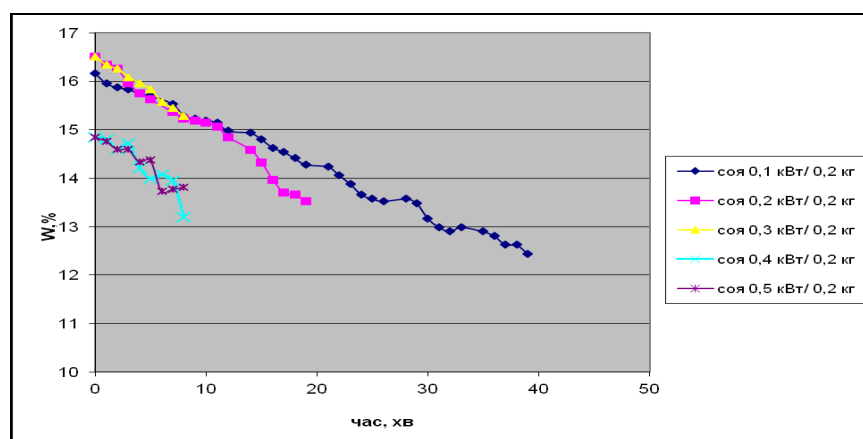


Figure 9 - Dependence of moisture content on power for soybeans at variable power.



It works as follows: a certain amount of whole grain of rapeseed or soybean is fed to the belt, obtaining a specific loading value equal to 1.5; 3.5; 5 kg/m², respectively. After that, the belt was set in motion at a speed of 0.13, 0.33 or 0.54 cm/s. During the movement of the belt under infrared radiators, the products were exposed to irradiation of a certain power of 100, 200, 300W. At the same time, one, two or three emitters were turned on along the belt.

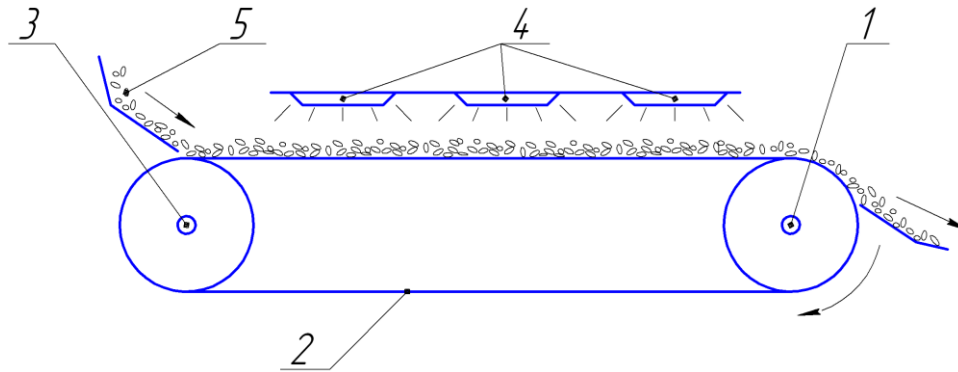


Fig. 10 - Scheme of the experimental conveyor installation for IR drying:
1 - drive roller; 2 - belt; 3 - tension roller; 4 - infrared irradiators; 5 - products.

According to the results of the research, it was found that the optimal power for irradiators is 200 W, and the specific loading of more than 3.5 kg/m² is inexpedient to use because a large layer of products does not allow infrared rays to process all the grains, especially at high enough belt speeds. The power limit is set because increasing the power above 200 W can damage the product due to high temperature, and the use of several irradiators gives a greater drying effect than one, but with greater power. Moisture extraction with the help of several radiators is more effective because the nature of the process is determined by the mechanism of moisture transfer in the material and the mechanism of moisture transfer from the surface of the material to the environment through the surface layer, which is located near the surface of the material. Therefore, drying in several stages prevents the formation of a crust on the surface of the material, due to which the process of moisture transfer will slow down. And short breaks between drying stages allow moisture to be distributed from the middle of the material to its surface.

Conclusions.

The number and designs of grain dryers with various devices for utilization of exhaust gas heat: heat exchangers, heat pumps and other equipment to reduce the moisture content of the drying agent, which is reused. But for reasons of thermodynamic efficiency, it is necessary to deal with the reduction of heat emissions into the atmosphere as efficiently as possible.

Also, we have created an experimental installation to study the influence of technological, energy and design parameters under infrared irradiation on the efficiency of moisture removal from the product.

It was found that the optimal power for irradiators is 200 W, and the specific loading of more than 3.5 kg/m² is inexpedient to use due to the fact that a large layer



of products does not allow infrared rays to process all the grains, especially at high enough belt speeds.

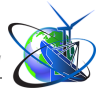
It was also found that an increase in the specific loading of soybean and rapeseed crops to 7.5 kg/m² leads to an increase in moisture yield, and the subsequent increase in the specific loading is impractical, because moisture extraction does not increase (when drying rapeseed), or, in general, decreases (when drying soybeans), which can be explained by insufficient penetration of infrared rays into the entire loaded product.

References.

1. Atamaniuk V. M. Zovnishnii teplomasoobmin pid chas filtratsiinoho sushinnia. Promyshlennaia teplotekhnika. 2006. T.28, №5. S.47-54.
2. Bandura V.M., Palamarchuk V.I. Eksperymentalni doslidzhennia kinetyky sushinnia ripaku ta soi v nerukhomomu shari v infrachervonomu poli. Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii. Odesa: 2012 Vyp.41, tom 2. S. 110-113.
3. Burdo O. H., Bezbakh I. V., Donkohlov V. I. Kinetyka sushinnia pshenytsi v aparatakh na bazi termosyfoniv. Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii. 2009. Vyp. 36(1). S. 297-302.
4. Burdo O.H. Evoliutsyia sushylnykh ustanovok. Odessa: Polyhraf, 2010. 200s.
5. Burdo O.H. Evoliutsyia sushylnykh ustanovok. Odessa: Polyhraf, 2010. 368s.
6. Burdo O.H., Pyshchevye nanoenerhotekhnolohyy. Kherson, 2013. 294 s.
7. Burdo OH, Terzyev SH, Yarovoi YY, Borshch AA. Elektromahnytnye tekhnolohyy obezvozhyvanyia syria. Problemy rehyonalnoi enerhetyky, 2012. №2 (19). S.69-79.
8. Burdo O.H, Terzyev S.H, Yarovoi Y.Y., Ruzhytskaia N.V. Yssledovanye modul'ia lentochnoi sushylky rastytelnogo syria s kombynyrovannym elektromahnytnym podvodom enerhyy. Yssledovanye modul'ia lentochnoi sushylky rastytelnogo syria s kombynyrovannym elektromahnytnym podvodom enerhyy. Trudy IV Mezhdunarodnoi nauchno-praktycheskoi, 2011.
9. Haponiuk O. I., Ostapchuk M. V., Stankevych H. M., Haponiuk I. I. Aktyvne ventyliuvannia ta sushinnia zerna. Odesa : VMV. 2014. 326 s.
10. Haponiuk I. I. Udoskonalennia tekhnolohii sushinnia zerna. Odesa : Polihraf, 2009. 182 s.
11. Hidrofilni vlastyvoli soniashnykovoho nasinnia / Mank V.V. ta in. Natsionalnyi universytet kharchovykh tekhnolohii, Mohyliv-Podilskyi tekhnolohichnyi tekhnikum VDAU: Ukraina, 2008. S. 2-3.
12. Dzhuraev Kh.F. YK-konvektyvnaia sushka selkhozproduktov. Khranenyie y pererabotka selkhozsyria. 2001. №7. S.20-22.
13. Doslidzhennia konkurentozdatnosti vibrokhvylovoi konveiernoi infrachervonoii susharki dlia pisliazbyralnoi obrobky zerna / Palamarchuk I.P. ta in. Vostochno-Evropeiskyi zhurnalпередovykh tekhnolohyi. 2016. Tom 2. Vypusk 7 (80) Storinky 79-85.
14. Drahlyov A. Y., Drozdov V. S. Tekhnolohycheskoe oborudovanye predpriyatiy pererabatyvaiushchykh otraslei APK. K.: Kolos, 2001. 352 s.



15. Drukovanyi M.F., Bandura V.M., Kolianovska L.M., V.I. Palamarchuk. Udoskonalennia teplotekhnolohii pry vyrobnytstvi olii ta biodyzelnoho palnoho. Monohrafiia. Vinnytsia, RVV VNAU, 2014. 254 s.
16. Zozuliak I. A. Obhruntuvannia parametriv sushinnia zerna soniashnyka u vibratsiinykh mashynakh z U-vydnym konteinerom : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.18.12. Vinnytsia, 2015. 22 s.
17. Kindzera D. P., Khanyk Ya. M., Atamaniuk V. M. Hidrodynamichni osoblyvosti pry sushinni dyspersnykh materialiv u shchilnomu shari. Naukovyi visnyk UkrDLTU: Zbirnyk nauk.-tekhn. prats. Lviv: 2003. Vyp.13.1. S.126-133.
18. Kolianovska L.M. Analiz sposobiv ta «aparativ-synerhizmiv» dlia sushinnia kharchovykh produktiv shliakhom vakuumuvannia. Zbirnyk prats XVI Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii «Udoskonalennia protsesiv i obladnannia kharchovykh ta khimichnykh vyrobnytstv». ONAKhT, 2016. S. 180-185.
19. Paziuk V. M. Teplotekhnichni osnovy sushinnia nasinnievoho zerna : avtoref. dys ... d-ra tekhn. nauk : 05.14.06. Kyiv, 2019. 41 s.
20. Palamarchuk I.P., Zozuliak O.V., Herasimov O.O. Eksperymentalne obgruntuvannia osnovnykh parametriv vibratsiinoho filtratsiino-osmotychnoho sushinnia. Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii : Tekhnichni nauky. 2012. Vyp. 10(1). S. 157-163.
21. Protsey i aparaty kharchovykh vyrobnytstv. Kursove proektuvannia: Navch. posib. / za red. prof. I.F. Malezhyka. K.: NUKhT, 2012. 543 s.
22. Proektyrovanye protsessov y apparatov pyshchevykh proyzvodstv : uchebn. posoby / Erenhalyev A.E. y dr. Semei, 2008. 208 s.
23. Povyshenye efektyvnosti sublymatsyonnoi sushky vspenennykh produktov / Y.T. Kretov y dr. Khraneniye y pererabotka selkhozsyria. 2000. №5. S.20-21.
24. Promyshlennye yspytaniya sposoba sushky dyny po skheme vialeniye-konvektyvnaia sushka / Kh.F. Dzhuraev y dr. Khraneniye y pererabotka selkhozsyria. 2002. №3. S.336-337.
25. Poroshky z ovochiv i fruktiv / Yu. Sniezhkin y dr. Zerno i khlib. 2003. №2. S.38. 33.
26. Semenov H.V. Sushka termolabylnykh produktov v vakuume – tekhnolohiya KhKhI veka. Yzvestiya vuzov. Pyshchevaia tekhnolohiya. 2001. № 4. S.5–13.
27. Sposob sublymatsyonnoi sushky pyshchevykh produktov v 83 sverkhvysokochastotnom pole / Y.T. Kretov y dr. Khraneniye y pererabotka selkhozsyria. 2001. №9. S.24-25.
28. Stepanov M. T. Harantuiuche upravlinnia protsesamy sushinnia zerna v shakhtnykh priamotochnokh zernosusharkakh : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.07. Odesa, 2005. 21 s.
29. Fesenko A. V. Pidvyshchennia efektyvnosti tekhnolohichnoho protsesu sushky zernovykh kultur: avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.05.11. Luhansk. 2006. 19 s.
30. Fesenko A. V. Povyshenye efektyvnosti tekhnolohycheskoho protsesa sushky zernovykh kultur: dys... kand. tekhn. nauk: 05.05.11. / Luhanskyi natsyonalnyi ahrarnyi unyversytet. Luhansk, 2006. – 170 s.
31. Kholodnyi L.P., Bezusov A.T. Kompleksnaia tekhnolohiya pererabotky



fruktovoovoshchnoho syria. Zb. nauk. prats «Prohresyvni tekhnolohii ta udoskonalennia protsesiv kharchovykh vyrobnytstv» Kharkiv, 2000. S.160-163.

Анотація. В статті проводиться детальний огляд технологій та технік сушіння зерна. Звертається увага на трансформації аграрної промисловості в умовах війни.

Однією із основних проблем забезпечення якісним зерном є його зберігання. Поряд із перспективними методами підготовки зерна до зберігання, особливу увагу представлено методу ІЧ-опромінювання, як одному із фізичних методів обробки харчових продуктів. За умови застосування ІЧ-випромінювання значно скорочується тривалість термічної обробки, що обумовлено відсутністю термічного опору пограничного шару продукту променистому потоку, енергія якого безпосередньо поглинається поверхнею частинок сировини. При цьому ІЧ-випромінювання активно поглинається водою, яка міститься у продукті, але не поглинається тканиною продукту, котрий висушується або проходить термічну обробку.

Ключові слова: сушіння, зерно, інфрачервоне випромінювання, вологість, потужність, соя, ріпак.

Стаття відправлена: 17.01.2023 г.

© Коляновська Л.М.



UDC 66.061.34

**TECHNOLOGICAL SCHEMES OF OILSEEDS PROCESSING
ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ПЕРЕРОБКИ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР****Kolianovska L./Коляновська Л.***C.t.s., senior lecturer / К.т.н., старший викладач*

ORCID: 0000-0002-8645-3515

*Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine) /**Вінницький національний аграрний університет (Вінниця, Україна)*

Abstract. *The article provides a detailed review of technologies and techniques of oilseeds extraction. The principal structural scheme of oilseeds processing is developed.*

The main attention is paid to the waste-free oil and fat complex, from the improvement of pre-press preparation of seeds to the extraction of meals with the output to almost complete extraction of the valuable component using solvents.

Also, the oil and fat industry has undergone the most effective rate of development due to the intensification of extraction processes by the influence of various physical and mechanical factors. One of such factors is the influence of microwave field on the extraction process.

The article presents foreign and domestic studies on the effect of electromagnetic field on the extraction of valuable components in the food industry.

Key words: *extraction, microwave exposure, electromagnetic field, power, hydraulic module, solvent, pressing, technological scheme, oil and fat industry, soybean, rapeseed.*

Introduction.

The oil and fat industry in our country occupies a leading place in the agro-industrial complex, which is associated with the widespread introduction of scientific and technological achievements in the food industry, comprehensive intensification of production and high demand of the world market.

The production of vegetable oils is one of the leading branches of the food industry of the country. Its main products are vegetable oils - edible and technical. Edible vegetable oils, along with other products, form the basis of rational human nutrition. They are used for food both in pure (unchanged) form and in the form of processed products: margarine, cooking fat, mayonnaise and other products.

Technical oils are used for the preparation of soaps and detergents - household and technical, as well as oxidized oils used for the production of drying oils, varnishes, paints and biodiesel fuel. Some types of vegetable oils are used for the preparation of lubricants for special purposes, solvents for medicines, in the production of cosmetic products.

Wastes of vegetable oils production are of great economic value. After oil extraction from seeds - meal - is used as a concentrated feed for livestock, as a raw material for the preparation of food protein and other products.

Main text.

Seed hulls - husk, husk - are raw materials for hydrolysis production, the products of which serve as a source for obtaining various chemical products, as well as roughage for livestock.

The production of vegetable oils has been known since ancient times. Perhaps for the first time man began to use fruits and seeds of plants, which contain a lot of easily separated oil, to obtain vegetable oils. Most likely, the first were olive and



palm oils, which are easy to extract from fruits with very little external pressure. With the development of technical capabilities, people began to extract oil from fruits and seeds, which are composed of strong plant tissues and contain relatively small amounts of oil.

The crushed seeds were usually pre-heated before pressing the oil, as heating contributed to a more complete and rapid separation of the oil. This is how the press method of vegetable oil production was formed, the basic sequence of technological operations of which: cleaning seeds from impurities, separation of shells, crushing the kernel and seeds, heat (moisture-heat) treatment, pressing - remains virtually unchanged for centuries.

The extraction method of obtaining vegetable oils is the most effective. It provides almost complete extraction of oil (oil residue in the skimmed material is less than 1%). This makes it possible to extract oil even from low-oil materials that are inaccessible to the most advanced presses.

For a long time, the extraction oil due to the imperfection of the solvents used and technological equipment was worse in quality than the pressed oil. This led to the creation of technological schemes of double extraction of oil, which included the extraction of the main part of the oil from the seeds by pre-pressing, and then extraction of the remaining oil from the pressed material. Pre-pressing of the oil allowed to improve the quality of the main part of the oil obtained and, in addition, to intensify the work of the extraction equipment. Preliminary and final degreasing was used not only at extraction plants, but also at pressing plants, where the final pressing of oil was performed on presses that develop high pressure but have relatively low productivity.

To extract oil from oil raw materials in the world practice of vegetable oil production there are two fundamentally different methods:

- mechanical oil extraction - pressing;
- extraction of oil in the form of a solution in volatile organic solvents with subsequent removal of the latter from the solution - extraction.

In the technological schemes of oilseed processing into oil, there are preparatory, main, auxiliary and additional operations (Figure 1).

In some cases, which are determined mainly by the nature and quality of the processed oilseeds, various combinations of these methods are used.

The preparatory operations include seed cleaning from impurities, drying, kernel dehulling.

Technological schemes used both in Ukraine and abroad are shown in Figure 2 (hot pressing) and Figure 3 (cold single pressing).

According to the hot pressing technology, the process is carried out as follows. Pre-cleaned and dried seeds are poured into the receiving hopper 1 and transported by a screw conveyor 2 to the roller machine 3. Here the seeds are crushed, turning into a mint.

The resulting mint is fed by conveyor 2 to the three-part roaster 4, where it is heated. For heating the mint in the fryer is the furnace 10.

The heated peppermint is transported by a screw conveyor 2 to the final press 5.

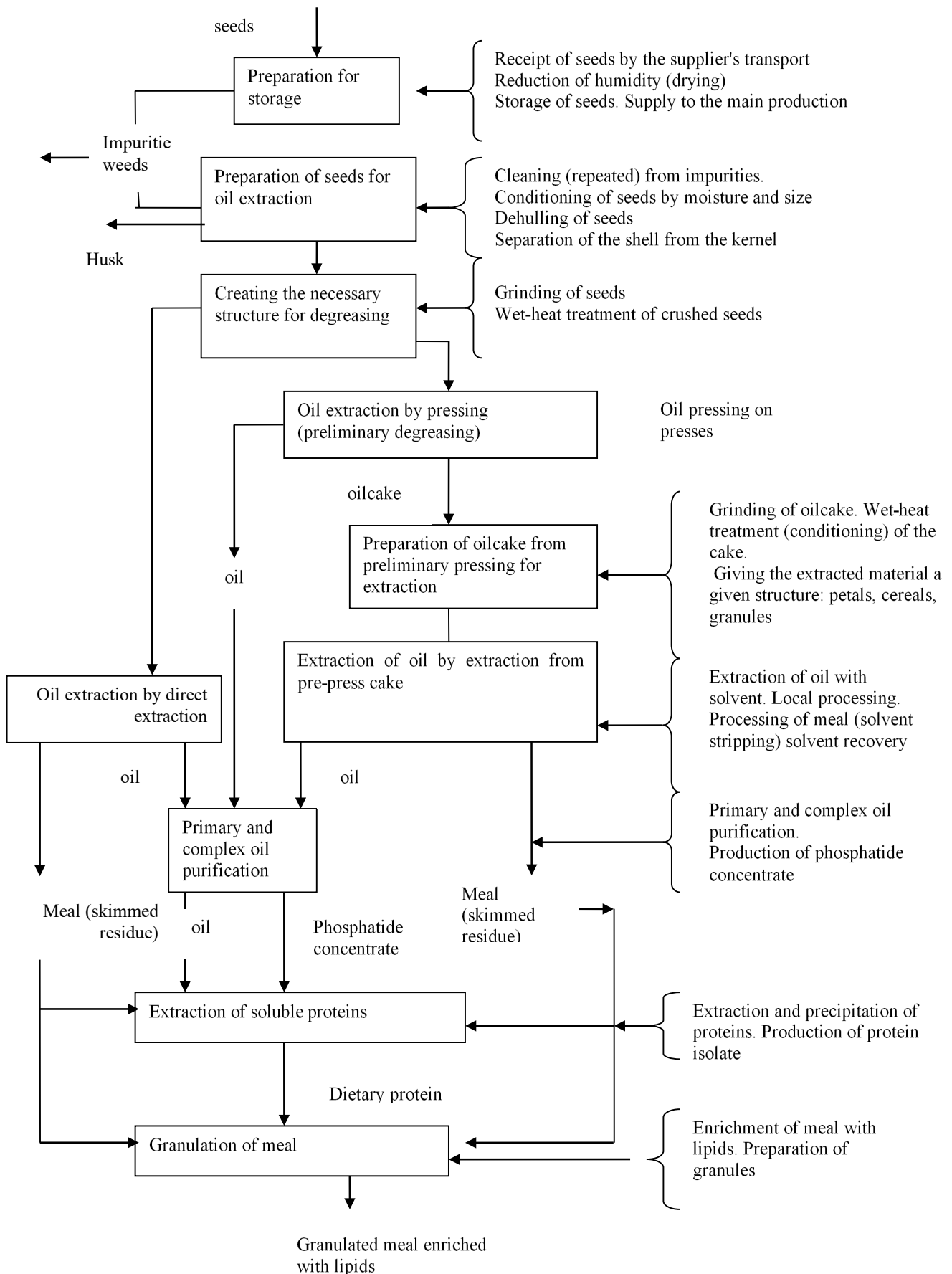


Figure 1 - Principal structural diagram of oilseeds processing

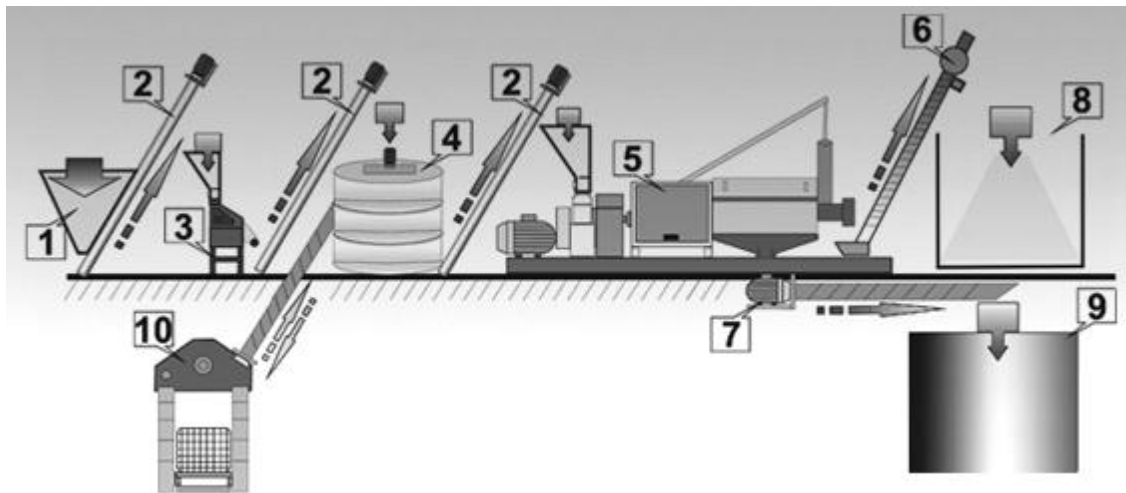


Figure 2 - Technological scheme of hot, one-time pressing:

1 - receiving hopper; 2 - conveyor; 3 - grinding-rolling unit; 4 - roaster 3 - vats; 5 - press; 6 - conveyor for cake selection; 7 - oil collector with pump; 8 - hopper for cake; 9 - oil storage tank; 10 - oven.

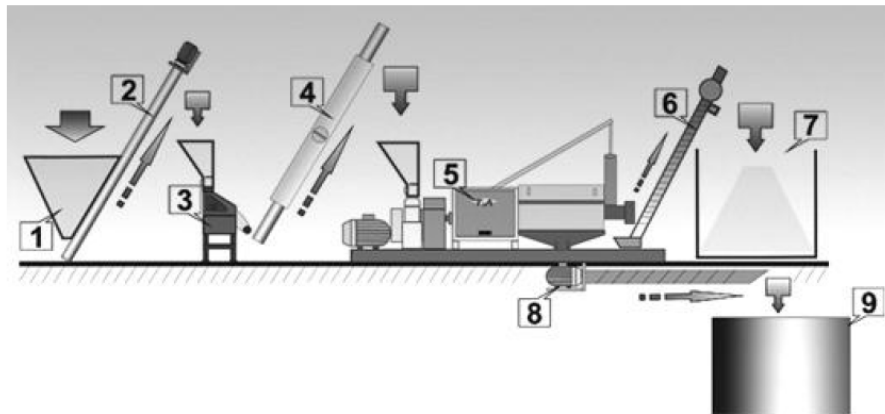


Figure 3 - Technological scheme of cold, one-time pressing:

1 - receiving hopper; 2 - conveyor; 3 - grinding-rolling unit; 4 - heated conveyor; 5 - press; 6 - conveyor for cake selection; 7 - cake hopper; 8 - oil collector with pump; 9 - oil storage tank.

The resulting oil passes through the gaps in the zeer cylinder, is collected on a pallet and drained into the oil collector 7, from where it is pumped by a pump to the oil storage tank 9. The cake coming out of the press is transported to a special hopper 8.

The operation of the line according to this scheme has a significant energy and metal consumption of production, in addition, the use of equipment for heating the oilcake leads to a decrease in oil quality and an increase in the cost of the final product.

The introduction of such a technological process in the conditions of farms with small volumes of raw materials production is impossible due to the branching of operations, which leads to high costs.

The technological scheme of vegetable oil production by the method of cold, one-time pressing differs from the previous one by the absence of a furnace for heat



treatment of mint, which somewhat simplifies the technology, but has a sufficiently large number of units of complete equipment, which in turn leads to high metal consumption.

Also, during the analytical review of the literature, a generalized classification of methods that allow accelerating the extraction process was described, taking into account the fact that the efficiency of extraction largely depends on the method of preparing raw materials for the process. At this stage, intensification methods provide the necessary shape, size and dispersed composition of particles, increase the cell permeability of raw materials. To date, from the known studies, the use of microwave heating has allowed to intensify the process of heat treatment of raw materials and extraction of stable soluble substances. Positive results of using electromagnetic pulse radiation were obtained in the production of food dyes from beets, fruit and berry raw materials, in the scheme of accelerated maturation of cognac alcohols, in the extraction of cedar oil from Siberian pine seeds, in laboratory conditions to accelerate the extraction of fungicides from wood materials in the production of soybean oil, in the extraction of oils from mint leaves, rosemary, tea tree, sandalwood and other plants, in the extraction of nicotine from tobacco raw materials [4-8].

The basis of the use of microwaves in the food industry is their ability to heat products. Here are the positive characteristics of microwave heating in comparison with traditional methods of food processing:

- 1) high process speed (thus, drying time is reduced by 10 ... 30 times);
- 2) short time to enter the mode (does not exceed 1 ... 2 minutes);
- 3) the material is heated more uniformly (heat is distributed throughout the volume of the material, regardless of its thermal conductivity);
- 4) selectivity of the process: wet parts of the material warm up faster than dry, which is not typical of convection heating;
- 5) inertia-free heating and the possibility of full automation of the process (heating can be quickly started and also quickly stopped);
- 6) high efficiency of the process;
- 7) significant reduction of heat losses to the environment and reduction of its pollution (no need to use coolants);
- 8) reduction in the need for production space by 3 ... 5 times;
- 9) high bactericidal effect of microwave energy;
- 10) high nutritional value of products, preservation of vitamins;
- 11) reduction of service personnel by 10 ... 50%;
- 12) the possibility of obtaining finished products with new properties.

The use of MHP allows to significantly intensify the technological processes of food production, to implement waste-free and energy-saving technologies, improves the economic performance of production and the quality of the product.

Although there are a number of disadvantages that limit the use of processes in the microwave field in production lines:

- high initial cost;
- insufficiently high operating life of microwave generators (10 ... 15 thousand hours), while the share of the cost of generators in the total price of the installation is about 50%;



- lack of cheap enough containers made of dielectric materials with high temperature resistance;
- highly qualified personnel is required;
- lack of sufficient reliable material on the dielectric characteristics of food products and their absorption capabilities when absorbing electromagnetic energy;
- the need for sufficiently strict dosimetric control over the level of stray radiation;
- lack of sufficient material for economic justification of efficiency and evaluation of engineering in processes in the microwave field. It should be emphasized that the prospects of processes in the microwave field are enormous, especially since the experience of their practical use in food production is positive. Technological processes of food production using pulsed electromagnetic energy, which makes it possible to significantly intensify the process, very often it is used in conjunction with other sources of heat - steam, hot air, which allows to obtain the most rational conditions for the process. In addition, the effect of the microwave field has proven to be an effective way of pretreatment, which allows to combine the increase of juice yield due to damage of protein-lipid cell membranes with the simultaneous inactivation of oxidative enzymes.

Microwave energy supply has unique abilities that create prerequisites for obtaining new technological effects - volumetric and selective nature of energy absorption. The selective nature of microwave energy absorption allows varying the moisture content and quality of water inside the product (free water, physically and chemically bound, etc.) to create the basis for the formation of various combinations of temperature, pressure and concentration fields inside the processed product.

The possibility of varying the pulse width of the energy supply gives an additional opportunity to achieve the destruction of cell membranes without a significant increase in temperature, and, consequently, to preserve the physiological active, nutrient and vitamin groups of the native product.

Due to the above features, the implementation of some processes achieves positive effects that are unlikely to be achieved with old technologies: intensification of freeze-drying processes, increasing the degree of extraction, drying of thermolabile products at low temperatures, etc.

Microwave process technologies are used for liquid and gas phases, both under normal and supercritical conditions. Some examples of the use of microwave processes in the liquid phase are: extraction of valuable oils, flavoring substances from plant raw materials, biphenols from animal tissues, polycyclic aromatic carbohydrates from polyurethane foams, which are used in the monitoring of air and various solids - soils, precipitation, etc. The second application of microwave processes is the extraction of dissolved organic matter from water.

In the UK, the use of microwave processes for sample preparation instead of the Soxhlet method has reduced the process time from 8...16 hours to 30 minutes, energy consumption by about 90%, while increasing the yield and purity of the extract. These properties not only reduce production costs, but are also considered more environmentally friendly. The method allows to determine more than 100 pollutants from various sources (soil, water, animal tissues, etc.) [14].



Microwave field processes are widespread in France, where they are used to determine the amount of fat in meat and dairy products [23]. In Canada, they are used to analyze the composition of river, lake and drinking water, polluted water of enterprises, due to the unique mechanism of energy transfer from substances that strongly absorb microwaves to water. A comparative analysis of the performance of conventional supercritical CO₂ extraction and liquid CO₂ extraction using microwave energy was carried out. The experimental results were similar, but in the second case there was no need for high pressure, which significantly reduces the capital cost of the equipment and reduces its metal consumption [2].

Scientists of the Technological University of Malaysia [14] considered the problem of using microwave extraction to obtain valuable vegetable oils from tea tree leaves, rosemary and other plant materials. Ethanol was used as an extractant for cineole, pinene and terpenoids. Gas chromatography was used to analyze the final solution, and an electron microscope was used to study the morphological structure of the cells. It was found that the yield of soluble substances was higher the higher was the dose of electromagnetic pulse radiation (1 dose is equal to 750 W for 60 seconds). To study the nature of the effect of the microwave field on the cells of plant material, photos of tea tree leaves before and after extraction, taken on an electron microscope, were compared. In the photo, there are noticeably fewer cells that include oils, the texture of the leaves looks deformed compared to the leaves that were not exposed to electrophysical influence [23].

The dissertation work of S. Armstrong presents the results of studies of microwave extraction of fungicides (substances with antifungal properties) from wood in order to prepare samples for laboratory analysis. The experiments showed that the longer the extraction time, the higher the yield of the final product. Optimal conditions for fungicide extraction: power - 90 W, time - 15 minutes. High power can lead to overheating and destruction of substances.

It was found that important components do not degrade under the influence of microwave energy. In order to understand the mechanism of microwave energy effect during extraction, two wood samples (with and without field exposure) were studied under a microscope. As a result, the following process mechanism was proposed. The capillaries of the tree are cylindrical, hollow in the middle, passing through themselves water with nutrients along the tree. Capillaries hold a large amount of water and under the influence of microwave energy can overheat, because the solution can not give off heat as fast as it absorbs. Microwaves interact with the solution and free water molecules, resulting in localized overheating. As a result, there is a heterogeneous temperature increase to the boiling point of water, and sometimes - higher. Consequently, the pressure in the middle of the capillaries increases, the walls of the capillaries can not withstand and collapse, allowing substances to freely escape into the extractant. Photographs of samples confirm this theory: capillary ruptures are visible on the image of the sample after microwave extraction.

The dissertation of V.G. Terziev [15] considers the possibility of improper use of PMWP in the production of spirits. Experiments on the extraction of oak wood with water in the boiling mode showed that the processes in the microwave field



achieved a concentration of 1.5%, which is 5 times higher than with conventional electric heating. This discrepancy is explained by the effect of barodiffusion.

All of the above shows that the use of microwave processes for the extraction of plant raw materials requires less time for the process itself. At the same time, the yield and quality of the resulting product increases with less energy consumption.

In addition to the above positive qualities, extraction of plant material by means of microwave field does not require high pressure, has a selective extraction ability, does not require serious capital investments, does not require preliminary drying of the material, however, this technique requires accurate determination of the parameters of the microwave field, for which the generator must be designed so that the most important parameters of the process can be easily controlled. The speed and the possibilities of variation of this technology open up great opportunities for further activities.

Intensification of the process of extraction of target components from plant raw materials.

As a rule, the latest technologies arise following the formation of new requirements for product quality. Currently, the transition from quantitative to qualitative indicators is primarily related to the food industry.

Recently, attention to the development of modern technological processes, including the extraction process, has increased, as evidenced by a large number of scientific works in this area.

The greatest opportunity to intensify the extraction process is associated with the effect on the mass transfer coefficient, which depends on the hydrodynamics of the process, that is, on the speed of relative motion of the solid phase. This speed is also called the flow velocity. With an increase in the speed of the extractant relative to the raw material particles, the molecular transfer mechanism changes to convective and sharply reduces the size of the diffusion boundary layer. The choice of optimal hydrodynamic conditions makes it possible to replace expensive extractants with more affordable ones and, of course, reduce the costs associated with the grinding of raw materials.

When studying the effect of electromagnetic field on the extraction of oil from rapeseed and soybean, the results of significant intensification of the process were obtained. They showed that the yield of the target component during the intensification of the electromagnetic field is on average 30% higher than the extraction by the traditional method of infusion for a long time, and the time saving was 97%. Thus, in the study by the infusion method, the extraction lasted 5 hours, and when intensified by an electromagnetic field - 10 minutes with a difference in oil concentration up to 40% [12,15,16].

In our study, we used experimental stands №1 and №2 (Figures 4,5). The main elements of bench №1 were a chamber, which, thanks to the magnetron, created a microwave field, as well as a container in which the extraction process was carried out.

The stand provided regulation of the microwave field power. The principle of operation of the experimental stand is as follows: in a container with the product 3, the extraction process takes place under the influence of a microwave field in



chamber 1. The extractant vapor enters the reflux condenser 2, condenses and flows back into the reaction vessel with the sample and solvent.

The range of experimental studies on the installation №1 is shown in Table 1.

The main factors affecting the extraction process are the size of the raw material fractions (d, mm), the presence and power (N, W) of the pulsed electromagnetic field (PEM field), the hydraulic module of the extract (ξ), temperature (t, °C), extraction time (τ , s), solvents: alcohol C_2H_5OH , hexane C_6H_{14} .



Figure 4 - Stand for oil extraction №1:

1 - microwave chamber; 2 - reverse water cooler; 3 - container with the product.

Seeds	Type of raw material	Fraction	Hydromodule	Temperature, °C	Solvent	Pulsed field effect	Power, W	Research time
1. Winter rape varieties "Champion"	Grain	0.5 mm - whole grain	1:3	From 12°C - to the boiling point of the solvent	Alcohol and hexane	In the field and without field	127 W, 255 W, 425 W	From 5 min. to 24 hours.
	Oilcake	0.5 mm - 7 mm	1:3, 1:5, 1:10, 1:20					
2. Soybean variety "Vinnychanka"	Grain	0.5 mm - whole grain	1:3					
	Oil cake	0.5 mm - 7 mm	1:3, 1:5, 1:10, 1:20					

The principle of operation of the unit №2 (Figure 5): seeds of the studied oil-containing crops of rapeseed and soybean are fed into the fitting with a container for



filling with solid phase 1, the solvent enters the extraction tank 4 through the fitting with a container for filling with solvent 2. The solvent condenses in the reflux condenser 3. Extraction intensification takes place in the electromagnetic intensifier 5.

During the study, the temperature of the product at the inlet 7 and at the outlet 8 of the microwave intensifier, as well as the temperature of the intermediate coolant 6, were measured using sensors.



Figure 5. Extractor with microwave intensifier (MHI):

1 - fitting with a container for filling the extractor with a solvent; 2 - fitting with a container for filling the reaction volume with a solid phase; 3 - reflux cooler; 4 - extractor; 5 - electromagnetic intensifier; 6 - sensor for measuring the temperature of the intermediate coolant; 7 - sensor for measuring the temperature of the product at the inlet to the microwave; 8 - sensor for measuring the temperature of the product at the outlet of the microwave.

Characteristics of the experimental setup №2 for research (Table 2).

Table 2 - Characteristics of the extractor with microwave intensifier (MHI)

Installation characteristics	Quantity
1	2
volume of solvent (V)	0,008-0,015 m ³
mass of oil-containing rapeseed (Mn _r)	2-5 kg
mass of oil-containing soybean seeds (Mn _s)	2-5 kg
extraction time (τ)	15-32 min.
mass of rapeseed oil yield (Mo _r)	0,83-2,10 kg
soybean oil yield (Mo _r)	0,40-1,00 kg
MHP power (N)	0,8-1,2 kW/kg



The temperature of the intermediate coolant sensors located at the inlet and outlet of the microwave intensifier was measured at intervals of 2 minutes (Figure 6).

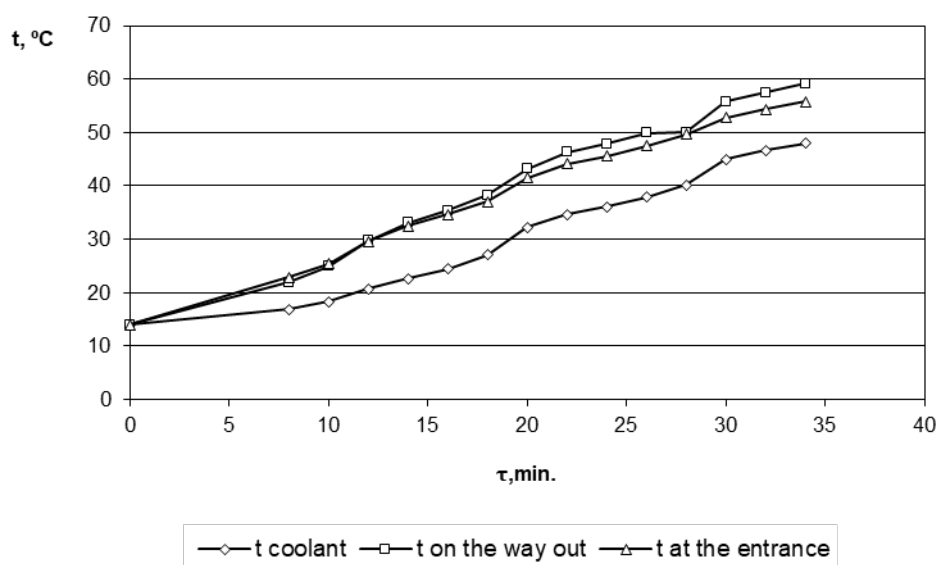


Figure 6 - Dependence of temperature on time in the process of extraction of rapeseed and soybean with ethanol in the extractor with MX intensifier.

As can be seen from the figure, the temperature of the micelle at the outlet of the MHI is the highest and during the study its maximum value was 59°C , at the inlet the maximum temperature was 56°C , and the temperature of the intermediate coolant was no more than 48°C at the end of the study.

During the extraction, samples were taken every 7 minutes to determine the concentration of mesta (Figure 7).

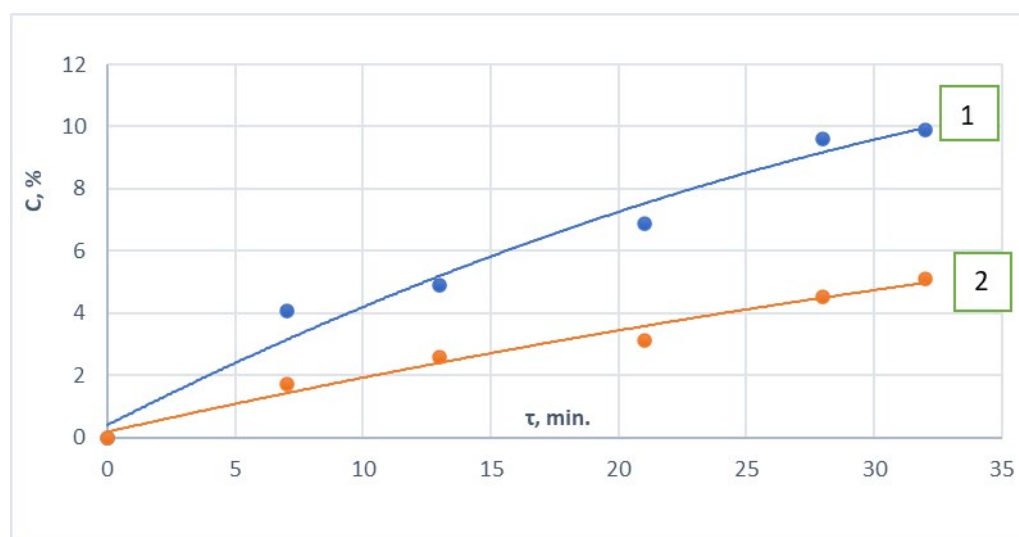


Figure 7 - Dependence of concentration on time in the process of extraction of rapeseed and soybean oil with alcohol in a microwave intensifier:

1) rapeseed+alcohol, 0.5-1 mm whole seed, 1:4, 800 W; 2) soy + alcohol, 0.5-1 mm whole seed, 1:4, 800 W.



For the study, rapeseed and soybean seeds crushed to a fraction of 0.5-1 mm were used as the most effective in extraction. The ratio of solid and liquid phases is 1:4. The microwave field power is 800 W.

An important indicator of the obtained samples of rapeseed and soybean oil is their chemical composition. The samples were examined in the laboratory of PJSC "Vinnytsia Oil and Fat Plant". The samples fully met the requirements of "SSTU 4534:2006 Soybean oil. Technical specifications" and "SSTU 46.072:2005 Rapeseed oil. Technical conditions".

The effectiveness of the use of polar solvent ethyl alcohol for this process is confirmed by the results of gas-liquid chromatography, which show that under the action of an electromagnetic field, this solvent intensifies the release of biologically active substances, in particular tocopherols $C_{29}H_{50}O_2$, from rapeseed and soybean seeds in addition to fatty acids. The content of tocopherols in the studied samples of oils obtained using a microwave intensifier is on average 2 times higher than in oils obtained by the traditional method.

In the scientific and technical literature devoted to the extraction of oils with hexane and ethyl alcohol solvents from soybean and rapeseed seeds under the action of a microwave field, there are practically no data on the mechanism of the process, phase equilibria, kinetics of mass transfer.

The use of the method of dimensionality analysis, obtaining the parameters of the combined extraction process was used in this work to process the experimental data and derive the criterion equation from the classical similarity numbers, taking into account the values of the parameters to get to the calculation of the extraction apparatus:

$$Sh = A \cdot Sc^o \cdot \zeta^\pi \cdot Bu^\sigma, \quad (1)$$

where A , o , π , σ are dimensionless constants;

Sc - Schmidt number, which shows the ratio of the amount of flow movement to the diffusion flow;

ζ - hydromodulus;

Bu - Bourdeau number, the number of energy action.

Constants A , o , π , σ of equation 1 were determined experimentally.

The constant o for the Sc number was taken equal to 0.33 as the influence of the Sc number in traditional mass transfer problems is usually established.

For the dimensionless complex of the solid-liquid phase ratio, the constant π was determined from the graphical dependences (Figures 8-9) of the hydromodule on the complex Z for the conditions "rapeseed-alcohol", "rapeseed-hexane", "soybean-alcohol", "soybean-hexane".

$$Z = Sh/Sc^{0.33} \quad (2)$$

The coefficient σ for the energy number Bu was determined from the graphical dependence of the number Bu on the complex C (Figure 10).

$$C = Sh/(Sc^{0.33} \cdot \zeta^\pi) \quad (3)$$

The constant A was determined by the dependence:

$$A = C/Bu^\sigma \quad (4)$$

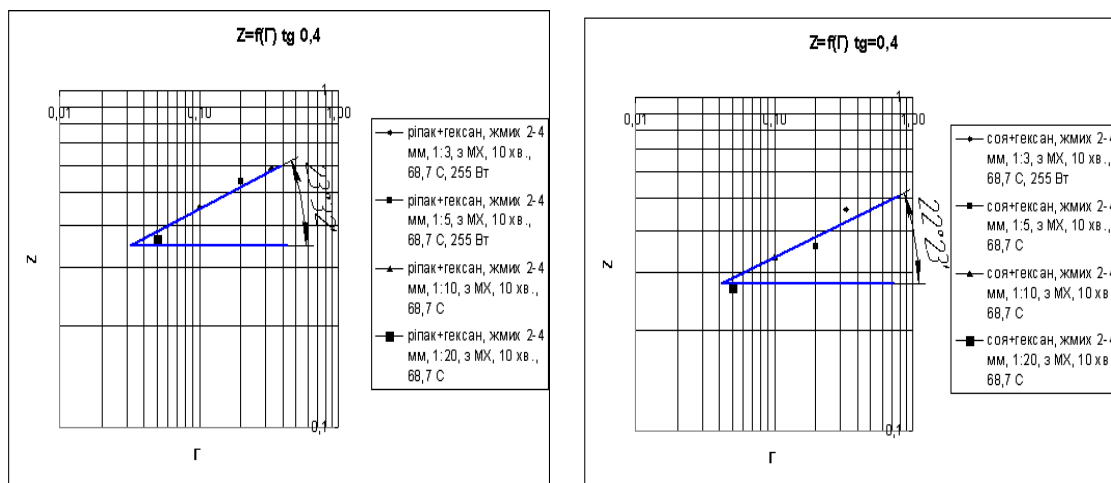


Figure 8 - Dependence of the dimensionless complex of the solid-liquid phase ratio on the complex Z for the conditions "rapeseed-hexane", "soybean-hexane".

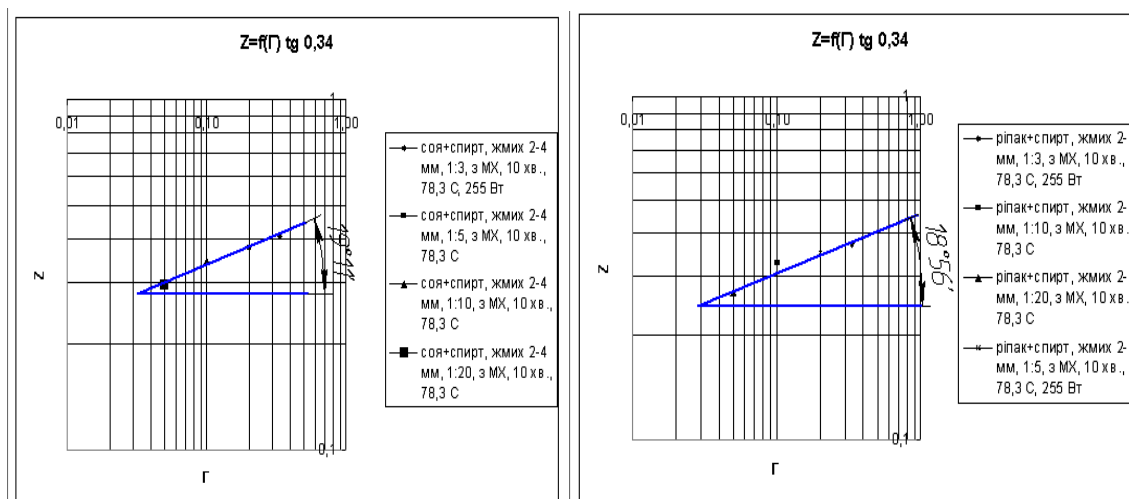


Figure 9 - Dependence of the dimensionless complex of the solid-liquid phase ratio on the complex Z for the conditions "soybean-alcohol", "rapeseed-alcohol".

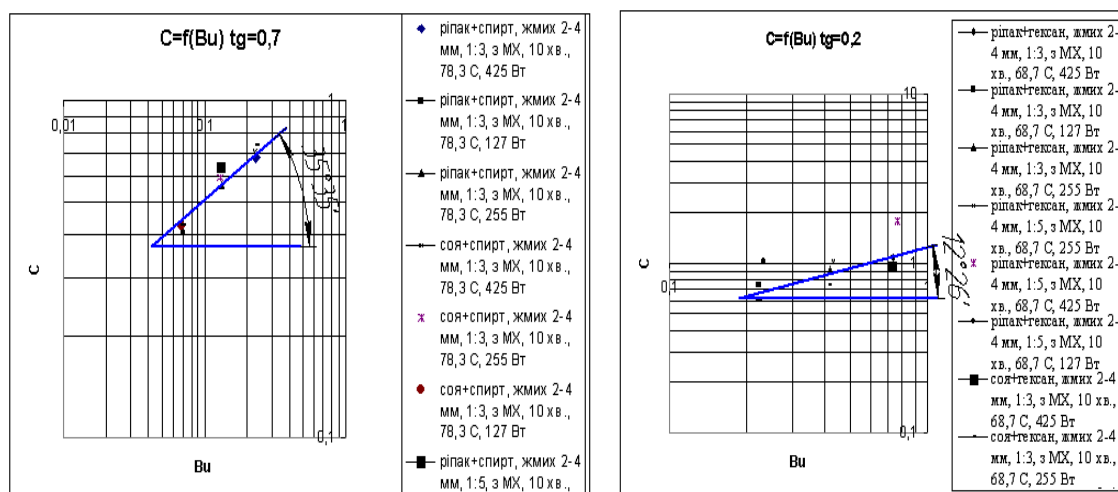


Figure 10 - Dependence of the energy action number Bu on the complex C for the conditions "soy-alcohol", "rapeseed-alcohol", "soy-hexane", "rapeseed-hexane".



The calculations of the values of mass transfer coefficients and similarity numbers for the conditions of studies of extraction of oil-containing rapeseed and soybean under the influence of the microwave field are presented.

As a result of the determined constants from the graphical dependences and on the basis of calculated and experimental data, the criterion equations for the conditions "rapeseed-alcohol", "rapeseed-hexane", "soybean-alcohol", "soybean-hexane" were obtained:

$$\text{For rapeseed with alcohol: } Sh = 1,7 \cdot Sc^{0,33} \cdot \zeta^{0,34} \cdot Bu^{0,7} \quad (5)$$

$$\text{For rapeseed with hexane: } Sh = 0,9 \cdot Sc^{0,33} \cdot \zeta^{0,4} \cdot Bu^{0,2} \quad (6)$$

$$\text{For soybean seeds with alcohol: } Sh = 1,8 \cdot Sc^{0,33} \cdot \zeta^{0,34} \cdot Bu^{0,7} \quad (7)$$

$$\text{For soybean seeds with hexane } Sh = 0,7 \cdot Sc^{0,33} \cdot \zeta^{0,4} \cdot Bu^{0,2} \quad (8)$$

Analysis of experimental and calculated data of dependences (5-8) showed that the calculation error is within 16% [1-27].

Conclusions.

Thus, the extraction of plant material by microwave field does not require high pressure, has a selective extraction ability, does not require serious capital investments, does not require preliminary drying of the material, however, this technique requires accurate determination of the parameters of the microwave field, for which the generator must be designed so that the most important parameters of the process can be easily controlled. The speed and possibilities of variation of this technology open up great opportunities for further activities.

The positive characteristics of microwave heating in comparison with traditional methods of product processing are: high speed of the process (for example, drying time is reduced by 10 ... 30 times); short time to enter the mode (does not exceed 1 ... 2 min.); the material is heated more homogeneously (heat is distributed throughout the volume of the material, regardless of its thermal conductivity); selectivity of the process: wet parts of the material are heated faster than dry, which is not typical of convection heating; inertia-free heating and the possibility of full automation of the process (heating can be quickly started and also quickly stopped); high efficiency of the process; significant reduction of heat losses to the environment and reduction of its pollution (no need to use coolants); reduction in the need for production space by 3 ... 5 times; high bactericidal effect of microwave energy; high nutritional value of products, preservation of vitamins; reduction of staff by 10 ... 50%; the ability to obtain finished products with new properties.

Although there are a number of disadvantages that limit the use of processes in the microwave field in technological lines: high initial cost; insufficiently high operating life of microwave generators (10 ... 15 thousand hours), while the share of the cost of generators in the total price of the installation is about 50%; lack of cheap enough containers made of dielectric materials with high temperature resistance; highly qualified personnel is required; lack of sufficient reliable material on the dielectric characteristics of food products.

References.

1. Abdurahimov, A. A., Kadrikov Yu. K., Serkaev K. P. Rafinaciiya hlopkovoj miscelly s ispolzovaniem processov gidratatsii i elektromagnitnoj obrabotki.



Maslozhirovaya promyshlennost. 2014. № 4. S. 16-18.

2. Amer Ali, Rosli Mohd Yunus, Ramlan Abd. Aziz. Scrutiny of Microwave Essential Oil Extraction. Malaysia Technology University. 2003. 7 r.

3. Bandura V.M. Intensifikaciya masoperenesennya v ekstraguvanni roslinnih olij. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. Shokvartalniy naukovo-praktichnij zhurnal. Harkiv : NTU «HPI», 2013. №2. S.144-147.

4. Bujvol S.M., Burdo O. G.. Ispolzovanie energopodvoda pri ekstragirovanii. Tezisy dokladov VIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov i aspirantov «Tehnika i tehnologiya pishevyh proizvodstv». Mogilev. 2012. Chast 2. S. 44.

5. Bujvol S.M., Burdo O.G, Bandura V. M. Doslidzhennya procesu ekstraguvannya iz vikoristannyam mikrohvilovogo polya. Harchova nauka i tehnologiya. Odesa. 2012. № 1 (18). S. 115 – 118.

6. Bujvol S.M., Burdo O. G. Ekstraguvannya oliyi iz netradicijnoyi sirovini. Tezi dopovidej vseuk.nauk.-prak. konf. molodih uchenih i studentiv «Aktualni problemi rozvitku harchovih virobnictv, gotelnogo, restorannogo gospodarstv i torgivli», 25 kvitnya, 2012. Harkiv: HDUHT. 2012. Ch. 2. S. 41.

7. Burdo O.G., Bujvol S.M., Bandura V. M. Kinetika ekstraguvannya oliyi iz roslinnoyi sirovini z vikoristannyam mikrohvilovogo polya. Zbirnik statej «Novitni tendenciyi u harchovih tehnologiyah ta yakist ta bezpechnist produktiv». Lviv. 2012. S. 29 – 33.

8. Burdo O.G., Bujvol S. M. Ekstraguvannya olij iz roslinnoyi sirovini z vikoristannyam mikrohvilovoyi tehnologiyi. Materiali mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konf. «Udoskonalennya procesiv i obladnannya – zaporuka innovacijnogo rozvitku harchovoyi promislovosti». Kiyiv: NUHT. 2012. S. 124 – 126.

9. Burdo, O., Bandura, V., Kolianovska, L., Dukulis, I. Experimental research of oil extraction from canola by using microwave technology (2017) Engineering for Rural Development, 16, pp. 296-302.

10. Byelinska, A. P. Tehnologiya kupazhovanoyi oliyi pidvishenoyi biologichnoyi cinnosti : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.18.06. Nacionalnij tehnicnij universitet "Harkivskij politehnicnij institut". Harkiv, 2011. 230 s.

11. Cherstva A. O. Udoskonalennya tehnologiyi presovogo viluchennya ripakovoyi oliyi iz vikoristannyam fermentnih preparativ : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk.: 05.18.12. K., 2018. – 18 s.

12. Dzhingilbaev S.S. Razvitie nauchnyh osnov intensifikacii processa otdeleniya rastitelnogo masla na ekstruderah: Avtoref. diss. d-ra. teh. nauk.: 05.18.12. RGP „NPC mehanizacii selskogo hozyajstva”. Almaty. 2007. 38 s.

13. Drukovanyi M.F., Bandura V.M., Kolianovska L.M., V.I. Palamarchuk. Udoskonalennia teplotekhnolohii pry vyrobnytstvi olii ta biodyzelnoho palnoho. Monohrafiia. Vinnytsia, RVV VNAU, 2014. 254 s.

14. Ihno N.P. O rentabelnosti glubokoj pererabotki semyan podsolnechnika. Olijno-zhirovij kompleks 2005. №2(9). S.48-49.

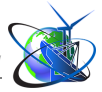
15. Hupe M. Effects of moisture content in cigar tobacco on nicotine extraction – similarity between Soxhlet and focused open-vessel microwave-assisted techniques. J. Chromatogr. 2003. 1011. № 1-2. R. 213-219.



16. Kinetika ta statika ekstraguvannya oliyi z vidhodiv harchovih virobnictv. Terziyev S.G. ta in. Odesa: ONAHT, 2012. Vip. 42. Tom. 1. S. 344-348.
17. Kolyanovska L., Palamarchuk I., Sukhenko Y., Mushtruk M., Sukhenko V., Vasuliev V., Semko T., Tyshchenko L., Popiel P., Mussabekova A., Bissarinov B.. Mathematical modeling of the extraction process of oilcontaining raw materials with pulsed intensification of heat of mass transfer. Proceedings of SPIE. 18th Conference on Optical Fibers and Their Applications, 2018, Naleczow, Poland. 15 March 2019.
18. Listopad V. L. Maslozhirovaya otrasl Ukrainy : vyzovy vremeni i strategicheskie priority. Maslozhirovoj kompleks. 2015. № 1(48). S. 19–23.
19. Mank V., Nosenko T., T. Voloshenko Investigation of antioxidant properties of rape pressing. Harchova nauka i tehnologiya. 2015. № 1 (30). P. 33-36.
20. Osadchuk P. I., Dudaryev I.I. Formuvannya tehnologiyi ochistki roslinnoyi oliyi v umovah miniceliv. Naukovi praci ONAHT. O., 2018. T. 82, vip. 1. S. 99-108.
21. Popov M. O. Osnovni napryamki energozberezhennya v olijno-zhirovij galuzi. Tehnichni nauki : stan, dosyagnennya i perspektivi rozvitku m'iasnoyi, oliyehirovoyi ta molochnoyi galuzej. 2012. S. 98.
22. Semko T., Novgorodska N., Kolianovska L., Blaschuk V., Solomon A. Development of resource-saving technologies of cheeses Global Science and Innovation [Text] : materials of the VII International Scientific Conference, Chicago, March 23-24th, 2016 / publishing office Accent Graphics communications – Chicago – USA, 2016. – C. 208-212.
23. Shten O. Produkcija yaku vipuskaye Vinnickij olijnozhirovij kombinat, koristuyetsya nezminno visokim popitom u spozhivachiv. Harchova i pererobna promislovist. 1995. № 12. S. 10–11.
24. Sirohman I. V. Napryami pidvishennya stabilnosti roslinnih oliv u tehnologichnih procesah i pid chas zberigannya. Visnik Lvivskogo torgovelo-ekonomichnogo universitetu : zb. nauk. pr. Ser. Tehnichni nauki. Lviv, 2016. S. 74-78.
25. Topilin G.Ye., Ked I.A. Ustanovka dlya dvohstupenevoyi ochistki roslinnoyi oliyi. Patent Ukrayini na vinahid (korisnu model) № 2008 04888, 15.04.2008.
26. Udoshkonalennya teplotehnologiyi pri virobnictvi oliyi ta biodizelnogo palnogo. Monografiya. / Drukovanij M.F ta in. Vinnicya, RVV VNAU, 2014. 254 s.
27. Universalnyj sposob proizvodstva rastitelnyh masel. A.Shkato ta in. MOTROL Motoryzacija i Energetyka Rolnictwa, Lublin, 2008, 10V, 156-161.
28. Vlasenko I., Semko T. Olijno-zhirova galuz Ukrayini: vikliki ta potencial rozvitku. Tovari i rinki. 2019. № 3 (31). S. 50–59.
29. Vlasenko V.V., Bandura V.M., Kolyanovska L.M. Intensifikuvannya ekstraguvannya v tehnologiyi virobnictva roslinnih oliv. Monografiya. Vinnicya, RVV VNAU, 2016. 203 s.

Анотація. В статті проводиться детальний огляд технологій та технік екстрагування олійних культур. Розроблено принципову структурну схему переробки олійної сировини.

Основну увагу приділено безвідходності олійно-жирового комплексу, від удосконалення допресової підготовки насіння і до проведення екстрагування шротів із виходом до майже



повного вилучення цінного компоненту за допомогою розчинників.

Також найефективнішого темпу розвитку зазнала олійно-жирова галузь за рахунок інтенсифікування процесів вилучення шляхом впливу різноманітних фізичних та механічних факторів. Одним із таких факторів є вплив мікрохвильового поля на процес екстрагування.

В статті наводяться зарубіжні та вітчизняні дослідження із впливу електромагнітного поля на процеси вилучення цінних компонентів в харчовій промисловості.

Ключові слова: екстрагування, мікрохвильовий вплив, електромагнітне поле, потужність, гідромодуль, розчинник, пресування, технологічна схема, олійно-жирова галузь, соя, ріпак.

Стаття відправлена: 17.01.2023 г.

© Коляновська Л.М.



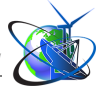
УДК 664.643.1

HYDRODYNAMIC SPEED MODES OF THE LIQUID AND GAS PHASES**ГІДРОДИНАМІЧНІ ШВИДКІСНІ РЕЖИМИ РІДКОЇ ТА ГАЗОВОЇ ФАЗ****Stadnuk I.Y./ Стадник І.Я.,***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4126-3256>*Ternopil Ivan Puluj National Technical University**46001, 6 Hohol str., Ternopil**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**46001, вул. Гоголя, 6, м. Тернопіль***Piddubnyi V.A./ Піддубний В.А.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1497-7133>*Kyiv National University of Trade and Economics**02156, 19 Kyoto str., Kyiv**Національний університет торгівлі і економіки**02156, вул. Кіото, 19, м. Київ***Havrylko P.P./ Гаврилко П. П.***s.e.s., as.prof. / к.е.н., доц.*ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-2467-8150>*Uzhhorod Trade and Economic Institute of SUTE**88000, 21 Pravoslavna naberezhna str., Uzhhorod**Ужгородський торговельно-економічний інститут ДТЕУ**88000, вул. Православна набережна, 21, м. Ужгород***Hushtan T.V./ Гуштан Т.В.***s.e.s., as.prof. / к.е.н., доц.*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0299-0437>*Uzhhorod Trade and Economic Institute of SUTE**88000, 21 Pravoslavna naberezhna str., Uzhhorod**Ужгородський торговельно-економічний інститут ДТЕУ**88000, вул. Православна набережна, 21, м. Ужгород***Kahanets-havrylko L.P/ Каганець-Гаврилко Л.П.***teacher/викладач*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2800-1465>*Uzhhorod trade and economic professional college of the State trade and economic university;**88000, Kapitulna, st. 1/3, Uzhhorod**Ужгородський торговельно-економічний фаховий коледж**Державного торговельно-економічного університету;**88000, Капітульна, вул. Україна, м. Ужгород, 1/3,*

Анотація. Проведено аналіз змішувачів різних конструкцій, відзначено їх ступінь впливу на середовище, а також недоліки при виборі відповідних параметрів у проведенні модернізації, реконструкції де не враховується необхідна мікроструктура напівфабрикату, що визначає його поведінку і якість.

Розглянуто змішування як чисто механічний процес взаємного формування біополімерних матеріалів в умовах течії зсувного деформування, існування взаємозв'язків між температурою, прикладеним зусиллям, всебічним стисканням, з одного боку, і іншими властивостями біополімерів, з іншого.

Відзначено, що використання псевдозрідження та вібрації в період дозування компонентів на стадії змішування сприяє інтенсифікації взаємодії дисперсної фази, тобто



як принцип дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) із іншими фізичними ефектами створює швидкі зміни руху компонентів.

Розглянуто математичний опис процесу формування потоку рідини та дисперсного потоку частинок борошна, утворених вібратором борошна і розпилюючою форсункою (насадкою). Отримано функціональну залежність рівномірності утворення бульбашок середовища від трьох факторів $\eta = f(h, V, \nu)$. Перевірка однорідності дисперсій, адекватність отриманої функціональної залежності та пошуку її оптимуму виконано в середовищі комп'ютерної математики Maple.

Ключові слова: змішувач, тісто, псевдозрідження, моделювання.

Вступ.

Напрямки підвищення якості утворення сумішей при змішуванні у харчовій та фармацевтичній промисловості, є актуальними. Тому сьогодні приділяється велика увага, як у нашій країні, так і за кордоном. Адже в умовах ринкової економіки найкращим буде той процес та обладнання, що оптимізує технологічні процеси з меншими енергетичними та матеріальними витратами.

Борошно є одним з найбільш популярних продуктів переробки. У всьому світі просто вражаюча кількість споживаного борошна в розмірах, формах, текстурі і смаку різних видів виготовлених напівфабрикатів. Приготування напівфабрикату в комплексі залежить не тільки від вхідних інгредієнтів, а й параметрів обладнання на якому вони переробляються. Необхідно відмітити, яким би “сучасним” та “ефективним” не були змішувачі, без якісної сировини отримати якісний продукт неможливо.

Здебільшого, обладнання для цієї операції обирають виходячи з особливостей виробництва, заданої продуктивності, характеристик сировини, показників якості готової суміші та економічних можливостей підприємства. Механічне перемішування у харчовій промисловості набуло найширшого використання завдяки своїй відносній простоті, а також різноманітності типорозмірів і конструкцій змішувальних робочих органів. Як стверджують автори [1], робочі органи не тільки служать для перемішування, але є універсальним засобом для гомогенізації малов'язких і в'язких середовищ. Їх ефективність використання є вищою, ніж під час розчинення у стаціонарному шарі компонентів. Їм належить рівномірний та інтенсивний масообмін між твердою фазою та рідиною.

Технологічні машини різних конструкцій розрізняються ступенем впливу на компоненти [2]. Цей вплив призводить до отримання кінцевого продукту з неоднаковими структурно-механічними властивостями та готової продукції різної якості. Вивчення впливу окремих змішувачів на властивості напівфабрикатів дозволяє робити пошук у їх найбільш доцільних конструкціях по підбору оптимальних режимів змішування.

Автори відзначають [3,4], що у даний час при виборі такого технологічного обладнання або проведенні модернізації з відповідними параметрами не враховується необхідна мікроструктура напівфабрикату, що визначає його поведінку і якість. Нерідко існуюче устаткування обумовлене сформованими традиціями, доступністю його виготовлення, або неповними знаннями про даний процес. Тому перспективним напрямком при змішуванні суміші компонентів є використання нового покоління обладнання, що



дозволило б збільшувати турбулізацію і циркуляцію потоків при одночасному зниженні енергоспоживання і металоємності.

Розробка конструкції обладнання для приготування рідких водно-борошняних напівфабрикатів, емульсій, суспензій вітчизняного виробництва сьогодні практично відсутня, а існуючі - досить консервативні та малоефективні. У цих машинах слабо вирішені вимоги, що ставить сучасність. Частково відсутня або незбалансована дія робочого органу та робочої камери машини, не передбачено регулювання режиму змішування, що призводить до підвищення нагріву середовища з не достатньою його аерацією.

Отже, наукові дослідження у цій області знань відкривають шляхи для модернізації існуючих та розробки нових конструкцій з необхідними параметрами. На наш погляд одним із можливих шляхів удосконалення змішування є створення дискретно-імпульсного впливу, пульсацій тиску та швидкості рідинного потоку, розвиненої турбулентності в локальних об'ємах потоку в робочій камері машини.

Аналіз останніх досліджень.

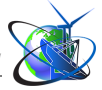
Проблема розчинення твердих частинок (борошна) у промисловості вирішується різними методами: з механічним або пневматичним перемішуванням, із псевдозрідженим шаром, перемішування струменем рідини або повітря, з рухомим або стаціонарним шаром твердої фази.

Відомо [4], що борошно це високомолекулярний біополімер в роздробленому (дисперсному) стані і є порошкоподібним адсорбентом. Питома поверхня різних сортів пшеничного борошна коливається у межах 60...270 м²/кг [4]. Борошно, особливо з твердих сортів пшениці, складається з дискретних частинок. Хоча ці частинки представляються маленькими, насправді вони досить великі (100...200 мкм), набагато більше гранул крохмалю (5...40 мкм) і, звичайно, більше молекул білка.

При формуванні біополімерних матеріалів основне значення мають процеси течії в умовах зсувного деформування. При будь-якій швидкості дії робочих органів існує взаємозв'язок між температурою, прикладеним зусиллям, всебічного стискання, з одного боку, і іншими властивостями біополімерів, з іншого. Вивченням всіх аспектів деформування середовища під впливом прикладених напружень займається спеціальний розділ механіки – реологія [5].

В праці [6] Стренк відзначає: створення якісної суміші не рівнозначно отриманню рівномірної концентрації частинок твердого тіла в рідині у всьому об'ємі апарата. Часто такого стану добитися неможливо. Утім, це й не обов'язково. Рівномірна концентрація суспензії у всьому об'ємі змішувача, істотного значення не має, але важливо, щоб всі частинки твердого тіла знаходилися у рідині в підвішеному стані. Також необхідно створити досить велику турбулентність рідини навколо частинок з метою зменшення товщини ламінарного шару на межі рідина – тверде тіло.

Отже, процес змішування розглядається як чисто механічний процес взаємного проникнення. Мета проникнення спрямована на отримання максимально однорідного суцільного середовища. Взаємодія частинок суцільного середовища з одними фізичними властивостями між частинками



суцільного середовища з іншими фізичними властивостями створює нові властивості, що відрізняються від властивостей змішуваних середовищ.

Авторами статті [7] розглянуто моделі псевдозрідження полідисперсних суспензій. На основі фізичної суті процесу було запропоновано систему рівнянь для математичного моделювання киплячого шару полідисперсної суспензії. В роботі наведено рівняння, графіки та діаграми за результатами досліджень. Недоліком запропонованої моделі є те, що вона не враховує різну швидкість руху частинок.

У роботах [9,10,11] наведено змішувач, що містить циліндричний корпус з днищем, кришкою і патрубками, вертикальний вал з тарільчастими робочими органами, а також змонтовані на внутрішній поверхні корпусу гальмівні елементи. Так в роботі [10] відзначено, що використання псевдозрідження та вібрації в період дозування компонентів на першій стадії змішування інтенсифікує технологічний процес із дисперсною фазою. Цей підхід, який названий принципом дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ), базується на корисному використанні згаданих вище механічних та інших фізичних ефектах, що виникають в псевдозрідженому середовищі при швидкій зміні руху компонентів та внутрішнього тиску.

Ідеологія ДІВЕ має на увазі наявність в утвореній рідкій фазі великої кількості рівномірно розподілених частинок борошна, бульбашок. Поведінка будь-якої окремої частинки визначається впливом найближчих інших сусідніх частинок. Динамічні характеристики в локальній точці рідини розглядаються з урахуванням впливу всіх частинок дозуючих компонентів. Це призводить до утворення всередині рідинної фази хаотичного, безперервно змінного в часі і в просторі полів швидкостей і тисків. Мікротечія в міжфазовому просторі має вихровий характер. Це формує поля тисків і швидкостей, що нагадують за своїм характером відповідні поля у турбулізованому потоці рідини.

Таким чином, просторово-часова структура потоку при імпульсному введенні енергії є утворення поблизу поверхні розділу фаз концентрованих зон дисипації енергії, що перевищують дисипацію енергії при звичайних способах проведення процесу на декілька порядків. Внаслідок цього в приграничному шарі розвиваються різного роду потужні фактори, які інтенсифікують перенесення тепла і маси. Все це приводить до підвищення інтенсифікації тепломасообміну та додаткового змішування.

Окрім гідродинаміки процесу, важливою характеристикою розчинення є її кінетика. Сумарна швидкість процесу розчинення визначається інтенсивністю кінетичної та дифузійної стадій. Кінетика є одним із найважливіших аспектів розчинення. Вона встановлює закономірності перебігу процесу у часі, визначає швидкість процесу. Нею також визначається продуктивність апаратів-розчинників [12,13]. Формування адекватних кінетичних моделей зазвичай базується на попередніх експериментальних дослідженнях. У цьому відношенні значний інтерес представляє дослідження, що проходить в області гетерогенного розчину [13,14].

Швидкість гетерогенних процесів залежить від величини поверхні міжфазного контакту і від дифузії. Причому збільшення швидкості процесу



відбувається в основному за рахунок поновлення компонентів на поверхні контакту фаз, так як швидкість дифузії незначна. Гетерогенна реакція складається з декількох послідовних стадій між рідинною фазою і частинками борошна. Результуюча швидкість всього процесу визначається швидкістю взаємодій фаз.

Для полегшення аналізу закономірностей процесу змішування та виявлення постадійних раціональних параметрів його забезпечення авторами [4,10] удосконалено запропоновану тристадійну модель процесу О.Т. Лісовенко [13], яка базується також на розробках Х.Д. Чейшнера, Н. Квендта та інших.

Важливим є дослідження впливу концентрації на швидкість, з якою тверда частинка борошна розчиняється у рідинній фазі. Дослідниками роботи [14] зроблено висновок, що швидкість, з якою тверда речовина розчиняється у розчині, пропорційна різниці між концентрацією цього розчину та концентрацією насиченого розчину.

Змішування в псевдозрідженому стані та з використанням обертових мішалок – гідромеханічний процес, в якому гідродинаміка має вирішальне значення для якості кінцевого стану середовища, виробу та продуктивності процесу. Однозначно, конструкція змішувального пристрою, в першу чергу, мішалки, безпосередньо бере участь у формуванні поля швидкості та характеристик турбулентного й конвективного перенесення на стадії утворення суміші. Ця стадія безпосередньо впливає на ефективність й визначає рівень змішування, тобто розчинення твердих частинок борошна з утворенням обнорідної сонцентрації. Під час змішування взаємно розчинних рідин і борошна, то ці характеристики повністю визначають час розчинення (гомогенізації). Окрім конструкції робочих органів, корпус робочої камери також має вплив на гідродинамічні характеристики рухомого потоку в змішувачі.

Метою роботи є оптимізація кінетики розчинення дисперсної суміші борошна та рідких компонентів під час їх псевдоперемішування у зваженому стані.

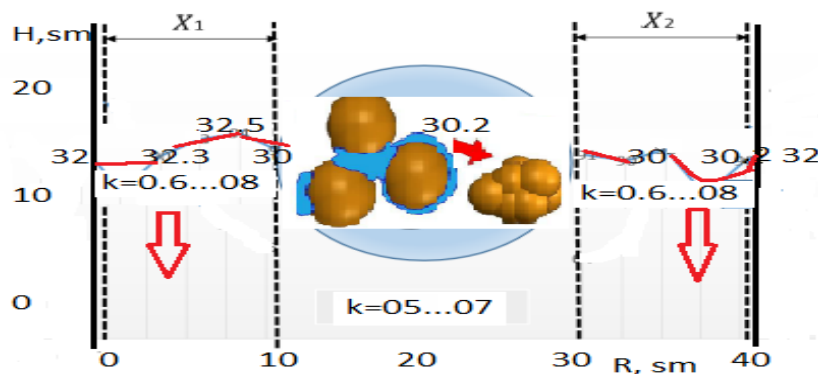
Методи і матеріали.

В якості об'єкта дослідження обрано процес змішування, як чисто механічний процес взаємного проникнення частинок борошна з фізичними властивостями та частинок рідинного середовища з іншими фізичними властивостями. Розглянуто ситуацію щодо розв'язку моделюванням із застосуванням поняття приведеної швидкості рідинно-газової фази.

Аналіз досліджень.

На нашу думку і авторів [9,14], підвищення енергоефективності змішування можливо за умови визначення та встановлення раціональних параметрів струминного пристрою та технологічних параметрів процесу змішування. Такий результат можливо отримати при дискретно- імпульсному дозуванні компонентів з впровадженням конструкції ежектора соплової системи змішувача компонентів (струминний пристрій). Конструкція пристрою заснована на створенні максимальної різниці швидкостей фаз, що дозволяє знизити енергетичні витрати на проведення диспергування. Ступінь на перших

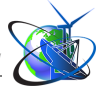
Отже, на водопоглинальну здатність борошна впливає її дисперсність, тобто розмір частинок. Із зменшенням розміру частинок збільшується питома поверхня в одиниці маси борошна, тому може бути адсорбційно більше зв'язано води. Поглинання води частинками з дрібними розмірами відбувається значно швидше. Основою способу змішування, що розглядається, є зволоження пиловидних часточок борошна, які перебувають у завислому стані, струменем рідини під тиском за умови термодинамічних процесів. Взаємодія компонентів спрямована на інтенсивність впливу тепломасообміну в модельній опарній композиції.



Авторська розробка

$$Q_{ce} = m_{ce} C_{ce} \Delta t,$$

Важливою частиною генерування в середовищі рідинної фази при оцінці процесу вагового змішування, варто ж звернути увагу на те, що він здійснюється за рахунок теплопритоку через поверхню теплопередавання.



Процес сприймається в першу чергу борошном через рідинну фазу. Це означає, що окрім обмеження оброблюваної частини ефект деструкції частинок борошна досягатися не буде. Досягнення останнього можливе лише в режимі адіабатного нагрівання середовища, реалізація якого за декокційним способом обробки має супроводжуватися нагріванням до температур $>40^{\circ}\text{C}$ за рахунок механічного впливу в робочій камері машини. Проте, можливою є реалізація режиму адіабатного нагрівання і за рахунок примусового зниження тиску в робочій камері, тобто за рахунок вакуумування, за рахунок інтенсифікації. Перехід до режимів адіабатного нагрівання в обох випадках означає використання елементів дискретно-імпульсних технологій, наслідки впливів яких на середовища не потребують додаткових доказів. Однак, віддаючи перевагу одному чи іншому напрямку, слід звернути увагу на можливі технологічні наслідки. Прояв останніх також пов'язується з температурами і часом перебігу процесів з точки зору впливу на ферментативні комплекси. Це означає, що нагрівання середовища від заданої температури до 40°C явно і суттєво перевищує температуру оцукрювання, що не може не впливати на ферментативну активність системи при бродінні.

Наведені міркування приводять до висновку про можливість реалізації режимів адіабатного нагрівання, при цьому потенціал енергетичних впливів оцінюється перепадом температур, який спрацьовує в режимі досягнення середовищем нового стану термодинамічної рівноваги.

Окрім гідродинаміки процесу, важливою характеристикою взаємодії компонентів є їх кінетика. Сумарна швидкість процесу взаємодії визначається інтенсивністю кінетичної та дифузійної стадій. Кінетика є одним із найважливіших аспектів взаємодії фаз компонентів. Вона встановлює закономірності перебігу процесу у часі, визначає швидкість процесу. Нею також визначається продуктивність змішувачів [5,9]. У цьому відношенні значний інтерес представляє дослідження, проведене в області гетерогенної взаємодії борошна з рідкими компонентами [3, 4].

Ми вже згадували, що взаємодія борошна із розсіяним струменем рідинної фази відбувається переважно хаотичний процес, тобто їх взаємодія з перемішування. Таким чином, у нашому розглянутому випадку під дією вібрації та перемішування у зваженому стані, суміш намагається перейти у квазірівноважений стан. Це відбувається з урахуванням перетворень сил внутрішнього тертя. Разом з тим на стан рівноваги суттєво впливають виникаючі у процесі гравітаційні сили, які визначають не тільки розміри і щільність, а також форму та інші параметри суміші.

Наведені міркування і співвідношення приводять до логічного висновку про те, що можливості бродіння тіста за показником швидкості розчинення кисню повинні відповідати динаміці споживання O_2 дріжджами в перерахунку на швидкість приросту середовища або на швидкість зменшення концентрації цукру в середовищі. Така відповідність балансів відображується залежністю:

$$\frac{dM_{\text{кис}}}{d\tau} = k_M F(c_H - c_\tau), \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (1)$$

де k_M – коефіцієнт масопередачі на межі поділу диспергованої газової фази і



рідинного середовища, м/с; F – площа поверхні поділу фаз, м^2 ; c_n і c_t – відповідно концентрація насичення і плинна концентрація масопередачі. Добуток $k_M F$ називають об'ємним коефіцієнтом масопередачі:

$$k_v = k_M F, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (2)$$

Числові значення коефіцієнтів масопередачі і поверхні поділу фаз залежать від фізичних параметрів рідинної і газової фаз, як температура, в'язкість, поверхневий натяг, гідродинамічний режим газорідинного середовища, умови утворення диспергованої газової фази, газотримувальної здатності, швидкості спливання газових бульбашок тощо.

Оскільки інтенсивність гідродинамічних режимів залежить від газотримувальної здатності, то пошук першопричини слід починати з визначення параметрів впливу на неї. Відповідь на питання про вплив рівня аерації завжди позитивна. Так, збільшення кількості (інтенсивності) вхідного потоку повітря, що вводиться в систему, газотримувальну здатність підвищує. Саме на основі цього факту використання знаходить методика оцінки інтенсивності на основі кількості повітря в м^3 середовища за одиницю часу. При цьому стверджується можливість моделювання гідродинамічних режимів, у тому числі і в середовищах різної геометрії, що відображується різними співвідношеннями площі поперечного перерізу і висоти стосовно ізооб'ємного рівня в робочій камері машини.

Ситуація щодо розв'язання поняття приведеної швидкості газової фази [14], яка визначається відношенням рідинно-газового потоку V в $\text{м}^3/\text{с}$ до площі поперечного перерізу робочої камери $f_{\text{ап}}$:

$$w_{\text{пр}} = \frac{V}{f_{\text{ап}}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (3)$$

Таким чином, режиму моделювання гідродинаміки в середовищі відповідає наближення до виконання умови $w_{\text{пр}} = \text{const}$. Саме це означає зменшення газового потоку V при кратному зменшенні площі поперечного перерізу $f_{\text{ап}}$ і, навпаки, за відповідного збільшення стосовно ізооб'єму.

Доцільність використання параметра $w_{\text{пр}}$ в моделюванні режимів змішування підтверджується порівнянням енергетичних витрат на введення в середовища рідинно-газових потоків. Такі витрати пов'язані з необхідністю подолання потоками гідростатичних тисків і утворенням міжфазної поверхні. Для визначення першої складової скористаємося трансформованим рівнянням ідеального газу Клапейрона у формі:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2, \text{ Вт} \quad \text{або} \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}, \quad (4)$$

де p_1 і p_2 – гідростатичні тиски в зонах введення потоків в порівнюваних змішувачах, Па;

V_1 і V_2 – відповідно об'ємні потоки рідинно-газової фази, $\text{м}^3/\text{с}$.

Оскільки умова (4) передбачає рівність потужностей вхідних рідинно-газових потоків, то при $w_{\text{пр}} = \text{const}$ маємо:

$$V_1 = w_{\text{пр}} f_1; \quad V_2 = w_{\text{пр}} f_2 \quad (5)$$



і звідси

$$V_2 = \frac{V_1 f_2}{f_1}; \quad V_1 = V_2 \frac{f_1}{f_2}. \quad (6)$$

Наведені співвідношення дозволяють сформулювати умову моделювання гідродинамічних режимів у формі:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{const} \text{ при } w_{\text{пр}} = \text{const}. \quad (7)$$

Енергетичні витрати, що стосуються утворення міжфазної поверхні F також пов'язані з газотримувальною здатністю, оскільки:

$$A = \sigma F, \quad (8)$$

де A – робота утворення міжфазної поверхні, Дж;

σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Дж/м².

За інших рівних умов міжфазна поверхня є функцією газотримувальної здатності:

$$F = F(u)$$

і тому

$$A = \sigma F(u). \quad (9)$$

Утворення міжфазної поверхні відбувається в зоні контактування рідинної фази з вхідним повітряним потоком з відповідною енергетичною трансформацією.

При цьому в локальній зоні створюється високотурбулізований режим на основі повного поглинання кінетичної енергії потоку з потужністю:

$$N = \rho V \frac{w^2}{2}, \text{ Вт}, \quad (10)$$

де w – швидкість входження в контакт потоку рідинної фази з повітрям, м/с;

ρ – питома маса рідинно-газового потоку, кг/м³.

Результатом такої взаємодії із борошном є утворення диспергованої рідинно-газової фази в супроводженні дисипативних явищ. Якщо останніми знехтувати і вважати, що потужність утворення міжфазної поверхні і потужність вхідного потоку наближено рівні, то на цій основі виникає можливість оцінки швидкості її синтезу. Від моменту утворення газових бульбашок починає діяти закон Архімеда завдяки створенню рушійного фактора:

$$P_{\text{руш}} = \rho_{\text{рід}} g v_6, \quad (11)$$

де $\rho_{\text{рід}}$ – густина рідинної фази, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

v_6 – об'єм бульбашки, м³.

Остання залежність вказує на те, що найбільш суттєвим фактором впливу на динаміку синтезу міжфазної поверхні є швидкість контактування фаз. Важливо, що технічна реалізація у виборі параметра w є цілком досяжною за рахунок вибору загальної площі робочого органу та методики дозування рідких компонентів у впливі на оклюзію і рівномірність розподілу в них газового потоку.

Висновок.

Раціональним для запропонованої конструкції змішувача і технології дискретно-імпульсного дозування компонентів відбувається при малих значеннях коефіцієнту варіації розмірів суміші.

При $vc=3\%$ залежність рівномірності дозування компонентів від відносної висоти h та швидкості руху V буде мати вигляд:



$$v(v_c=3\%)=193,8 \cdot h^2 + 0,039 \cdot V^2 - 0,264 \cdot h \cdot V - 551,5 \cdot h - 0,62 \cdot V + 406,9$$

Одержаний вираз диференційної функції розподілу числа частинок по кутовому розсіюванню дозуючих компонентів дозволяє зробити опис структури дисперсного потоку, що утворився при змішуванні в псевдошарі.

Література

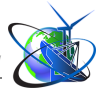
1. Особливості аеродинамічного сепарування однокомпонентних насінневих сумішей на прикладі кукурудзи / М. Я. Кирпа та ін. // Насінництво. 2013. С. 45-50.
2. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnuy, Olena Eremeeva, Halyna Karpyk FEATURES OF HEAT TRANSFER IN THE ENVIRONMENT WHEN IT IS SPRAYED WITH ROTARY ROLLERS //Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences vol. 12, 2018, no. 1, p. 824-835/doi: <https://doi.org/10.5219/977>
3. Доломакін, Ю.Ю. Структурно-механічні характеристики рідких хлібопекарських опар // Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності: матеріали IV Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції, 8 вересня 2015 р., м. Київ. – К.: НУХТ, 2015. – С. 59-61
4. Дробот В.І. Технологічні розрахунки у хлібопекарському виробництві. – К.: Кондор, 2010 – 440 с.
5. Stręk Fryderyk. Mieszanie i mieszalniki, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971, 367 stron
6. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.
7. Stefan Berres, Raimund Burger, Elmer M. Tory. On mathematical models and numerical simulation of the fluidization of polydisperse suspensions Applied Mathematical Modelling. 2005. P. 159 – 193.
8. Патент №137278 «Змішувач напівфабрикатів» бюлетень №19, від 10.10.2019р. Стадник І., Панбків Ю., Гіджинський В.
9. Патент №134226 «Змішувач рідких напівфабрикатів» бюлетень №9, від 10.05.2019р. Стадник І., Панбків Ю., Лясота О.
10. Стадник, В.А. Піддубний Вдосконалення технологічного процесу та обладнання для формування виробів- 1 частина: Монографія. / Стадник І.Я, Піддубний В.А. –Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019.-290с.
11. Delaplace, G., Guerin, R., Leuliet, J.C., Chhabra, R.P., 2006. An analytical model for the prediction of power consumption for shear-thinning fluids with helical ribbon and helical screw ribbon impellers. Chemical Engineering Science 61, 3250–3259
12. Generalov, M.B. Kinetics and nanostructures in cryogenic crystallization of binary eutectic salt solutions, Theor. Found. Chem. Eng. 2013. vol. 47, no. 3. P. 201.
13. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. – 208 с.
14. Noyes A.A., Whitney W.R. The rate of solution of solid substances in their own solutions Massachusetts institute of technology, Boston. 1997. P.930-934.



REFERENCES

1. Peculiarities of aerodynamic separation of one-component seed mixtures on the example of corn / M. Ya. Kirpa et al. // Seed production. 2013. P. 45-50.
2. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyy, Olena Eremeeva, Halyna Karpyk
FEATURES OF HEAT TRANSFER IN THE ENVIRONMENT WHEN IT IS SPRAYED
WITH ROTARY ROLLERS //Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences vol. 12, 2018, no. 1,
p. 824-835/doi: <https://doi.org/10.5219/977>
3. Dolomakin, Yu.Yu. Structural and mechanical characteristics of liquid bread Karskikh opar
// Resource- and energy-saving technologies for the production and packaging of food products -
the main principles of its competitiveness: materials of the 4th International Specialized Scientific
and Practical Conference, September 8, 2015, Kyiv. - K.: NUHT, 2015. - P. 59-61
4. Drobot V.I. Technological calculations in bakery production. - K.: Condor, 2010 - 440 p.
5. Stręk Fryderyk. Mieszanie i mieszalniki, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa
1971, 367 stron
6. Braginsky L.N., Begachev V.I., Barabash V.M. Stirring in liquids Wednesday: Physical
principles and engineering methods of calculation. – L.: Chemistry, 1984. – 336 p.
7. Stefan Berres, Raimund Burger, Elmer M. Tory. On mathematical models and numerical
simulation of the fluidization of polydisperse suspensions Applied Mathematical Modelling. 2005.
P. 159 – 193.
8. Patent No. 137278 "Semi-finished product mixer" Bulletin No. 19, dated October 10, 2019.
Stadnyk I., Panbkiv Yu., Gidjinskits V.
9. Patent No. 134226 "Mixer of liquid semi-finished products" Bulletin No. 9, dated May 10,
2019. Stadnyk I., Panbkiv Yu., Lyasota O.
10. Stadnyk, V.A. Poddubny Improvement of the technological process and equipment for the
formation of products - 1 part: Monograph. / Stadnyk I.Ya. Poddubny V.A. – Ternopil: Ivan Pulyuy
TNTU Publishing House, 2019.-290c.
11. Delaplace, G., Guerin, R., Leuliet, J.C., Chhabra, R.P., 2006. An analytical model
for the prediction of power consumption for shear-thinning fluids with helical ribbon and helical
screw ribbon impellers. Chemical Engineering Science 61, 3250–3259
12. Generalov, M.B. Kinetics and nanostructures in cryogenic crystallization of binary
eutectic salt solutions, Theor. Found. Chem. Eng. 2013. vol. 47, no. 3. P. 201.
3. Lysovenko A.T. Technological equipment of bread factories and its routesperfection -
Moscow: Light and food industry, 1982. - 208 p.
14. Noyes A.A., Whitney W.R. The rate of solution of solid substances in their own solutions
Massachusetts institute of technology, Boston. 1997. P.930-934.

Abstract. *The article evaluates the component of the technological process of interaction of components in the working chamber of the machine with the possibility of efficient formation of the mixture on the basis of their redistribution with the creation of local zones. The direction of improving the quality of mixing mixtures in the food industry is relevant, because the improvement of technology and equipment for processing components by different methods, nature and degree of impact is practically achievable for their improvement, especially today. The purpose of the study is to improve the design parameters and increase the efficiency of the mixer by creating conditions that will optimize the dissolution kinetics of the dispersed mixture of flour and liquid components during their pseudo-mixing in the suspended state. The analysis of mixing machines of periodic action and their degree of influence on components is carried out, the physical basis of the principle and systems of redistribution and transformations of deformations in expediency of constructive parameters for optimum modes of mixing is defined. A complex sequence of interaction of components and dynamic flows with possible minimization of energy costs, which is achieved by the degree of their direct interaction and possible transformation with each other, is considered. Mixing is considered as a mechanical process of mutual formation of biopolymer materials in the conditions of shear deformation, the existence of relationships between temperature, applied*



compression forces, on the one hand, and other properties of biopolymers, on the other. It is determined that the use of fluidization and vibration during the dosing of components at the mixing stage contributes to the intensification of the interaction of the dispersed phase. That is, the principle of discrete-pulse energy input (DIVE) with other physical effects is used, which creates rapid changes in the movement of components.

The properties of raw materials for methods of its quality determination are considered, laboratory methods with the use of research tools are substantiated at the established planning technique with the analysis of the received results and the Flow Vision software package is used in plotting graphs based on thermodynamic laws. Processing of the experimental data set was carried out by mathematical description of the process of formation of liquid flow and dispersed flow of flour particles formed by flour vibrating batcher and spray nozzle.



УДК 636.2.084/087.074

EXCHANGE OF PHOSPHORUS COMPOUNDS IN PREGNANT AND LACTATING ANIMALS**ОБМІН ФОСФОРНИХ СПОЛУК У ВАГІТНИХ ТА ЛАКТУЮЧИХ ТВАРИН****Prylipko T.M. / Приліпко Т.М.***d.a.s., prof. / д.с.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-8178-207X

Publons: AAF-5445-2019

Koval T.V. / Коваль Т.В.*s.a.s., as.prof. / к.с.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-7132-5887

Higher education institution «Podolsk State University», Kamianets-Podilskyi, Shevchenko, 13, 32300 *Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»*

Abstract. *The results of the study of phosphorus metabolism at a high level of lactation are given. In the first phase of lactation, a high content of NF was found in the blood of cows, in subsequent phases due to depletion of phosphorus reserves in the body, the level of NF decreased, and with the end of lactation, the amount of NF increased again. It is noted that the concentration of pyruvic acid increases in the blood of pregnant animals. In the blood serum of rabbits in the second decade of pregnancy, the content of phosphopyruvic acid (FPA) increases, and by the end of pregnancy it decreases, with the beginning of lactation (post-sucking period), the level of FPK increases again, but in the second half of the post-sucking period (15-20 days after birth), it decreases, reaching the lowest values by the end of lactation 25-30 days after the cycle. The content of KrF increases significantly by the middle of pregnancy, decreases by the time of parturition, and increases slightly again by the end of the suckling period. In the conducted experiments, lactating females were slaughtered 22-26 days after parturition. At the same time, the tissues of control (non-lactating) rabbits were studied. The clearest changes were found only in the NF content. In the liver of animals, the content of FPK, total and inorganic phosphate decreased, in the muscles the level of NF only decreased, and in the blood not only NF, but also CrF. In the bones of lactating rabbits, the level of total phosphorus and calcium was also slightly reduced. The results of the experiments are convincing that during intensive lactation, animals have a significant phosphorus deficiency, which is reflected in the content of total and inorganic phosphorus not only in blood, but also in other tissues, in particular - liver, muscles and bones. In the blood of pregnant and lactating animals, a certain dependence is observed between the activity of alkaline phosphatase and the exchange of phosphorus compounds.*

Key words: *phosphorus, element, animals, phosphorylation, blood, fetus, diet, insolation***Formulation of the problem.**

During the period of formation of the fetus in pregnant animals, all types of metabolism increase and energy expenditure increases. In order to carry out synthesis reactions, an increased formation of ATP is necessary due to the activation of those processes during which ATP is resynthesized, that is, primarily due to the reactions of oxidative and substrate phosphorylation. In addition, pregnant animals, in connection with the expenditure of phosphorus on the formation of the fetus, feel an increased need for this element.

Analysis of recent research and publications.

The state of exchange of phosphorus compounds in pregnant and lactating cows can be concluded primarily from the change in the level of inorganic phosphate (NF) in the blood of these animals. As expected, the content of NF in the blood serum of



pregnant animals is not constant. In cows, in the first half of pregnancy, there is an increase in NF [7], from the sixth month, its level decreases. The minimum content of NF is detected in the ninth month of pregnancy.

According to [2], the NF content in the blood of pregnant rabbits gradually decreases until parturition. The main depot from which the body uses phosphorus during pregnancy is bone tissue. In the middle of pregnancy, the bulk of phosphorus is sent to the placenta. At the end of pregnancy, phosphorus especially intensively leaves bone tissue and passes through the placenta to the fetus, saturating its tissues, especially bone tissue.

The level of NF in the blood of pregnant women largely depends on the nature of animal feeding. [6] in 50 pregnant rabbits, it was possible to prevent a decrease in the level of NF in the blood by introducing phosphorus and calcium into their diet. With a well-balanced diet with an optimal content of protein, phosphorus and calcium, it is possible to keep the level of NF in the blood of pregnant animals within normal limits.

Phosphorous metabolism reaches a significant stress at a high level of lactation. In the first phase of lactation in the blood of cows [3] found a high content of NF, in subsequent phases due to depletion of phosphorus reserves in the body, the level of NF decreased, and with the end of lactation, the amount of NF increased again.

Studies [2, 5] showed that in winter and spring, the phosphorus balance in lactating cows is negative (as early as the sixth and seventh months of lactation). A positive balance of phosphorus appears only at the end of the lactation period. According to the author's observations, in the summer months with the presence of green fodder, the phosphorus balance becomes positive from the sixth month of lactation. the main reason for the normalization of phosphorus-calcium metabolism was the increased insolation of animals and the synthesis of vitamin D3.

Research material and methodology.

It was noted [4] that there is an increase in the concentration of pyruvic acid in the blood of pregnant animals. In the blood serum of rabbits in the second decade of pregnancy, the content of phosphopyruvic acid (FPA) increases, and by the end of pregnancy it decreases, with the beginning of lactation (post-sucking period), the level of FPK increases again, but in the second half of the post-sucking period (15-20 days after birth), it decreases, reaching the lowest values by the end of lactation 25-30 days after the cycle. The content of KrF increases significantly by the middle of pregnancy, decreases by the time of parturition, and increases slightly again by the end of the suckling period. The content of ATP+ADP during pregnancy and lactation changed relatively little. Only a slight increase in the level of adenine nucleotides was observed in the middle of pregnancy and a slight decrease at the beginning of lactation. By the end of the lactation period, the content of ATP + ADP increased slightly again. The content of NF changed to a much greater extent. By the middle of pregnancy, its level increased, and by the end of pregnancy it decreased, at the beginning of the suckling period, an increase was observed again and a subsequent significant decrease until the end of lactation.

In general, the dynamics of the studied components during pregnancy and lactation is characterized by an increase in the level of macroergs and NF in the



middle of pregnancy. The level of phosphorus compounds decreases by the period of flowering. With the beginning of lactation, the content of KrF, FPK and NF increases, and by the end of the suckling period, it decreases again.

The high content of phosphorus compounds and inorganic phosphate in the middle of pregnancy indicates the activation of the metabolic processes of the mother's body in connection with the intensive growth of the fetus. The simultaneous increase in the amount of FPK, ATP + ADP, KrF and NF indicated the acceleration of glycolysis and oxidative phosphorylation reactions.

In the second half of pregnancy, a significant part of nutrients is directed to the fetus. The body weight of the embryos increases rapidly at this time. Intensive synthesis reactions in the body of embryos require significant energy expenditure. In connection with the mobilization of proteins and energy-rich phosphorus compounds by the growing fetus, the reserves of these substances are depleted, and their level in the blood of the mother's body decreases.

In lactating rabbits, a significant part of NF is excreted with milk. It is possible that inorganic phosphate under these conditions becomes a factor that limits the intensity of glycolysis reactions and ATP resynthesis, as well as phosphorylation of components of the glycolytic cycle.

During intensive lactation, the ATP content in the blood of animals does not decrease, but the amount of CrF decreases, the phosphate groups from which are more intensively transferred to ADP ($\text{CrF} + \text{ADP} \rightarrow \text{ATP} + \text{creatinine}$).

It was interesting to find out the influence of lactation on the content of phosphorus compounds in animal tissues. For this purpose, the studied components were determined not only in blood serum, but also in liver, muscles and bones. In the conducted experiments, lactating females were slaughtered 22-26 days after parturition. At the same time, the tissues of control (non-lactating) rabbits were studied.

The most clear changes are found only in the content of NF. The content of FPK, total and inorganic phosphate decreased in the liver of animals, the level of NF only decreased in the muscles, and not only NF, but also CrF in the blood. In the bones of lactating rabbits, the level of total phosphorus and calcium was also slightly reduced.

The results of the experiments show that during intensive lactation, animals have a significant deficiency of phosphorus, which is reflected in the content of total and inorganic phosphorus not only in the blood, but also in other tissues, in particular, the liver, muscles and bones.

In the blood of pregnant and lactating animals, a certain dependence is observed between the activity of alkaline phosphatase and the exchange of phosphorus compounds.

The activity of alkaline phosphatase changes significantly during pregnancy and lactation in animals. It increases in the first half of pregnancy, sharply decreases in the second half, remaining very low throughout it and in the first half of lactation. In the second half of lactation, the activity of phosphatase is restored to the initial level, which is determined in animals before the beginning of pregnancy.



Table 1 - The content of phosphorus compounds in the tissues of lactating and non-lactating rabbits (in mg% P)

components, that are determined	Non-lactating rabbits		lactating rabbits		in %
	number of animals	M ± m	number of animals	M ± m	
Liver					
PDK	6	2,63 ± 0,39	6	1,72 ± 0,38	65,40
ATP + ADP	6	17,01 ± 3,06	6	17,43 ± 0,41	102,46
H R	6	19,46 ± 0,44	6	16,01 ± 1,24	82,27
General R	6	325,6 ± 33,2	6	227,9 ± 9,84	69,99
Muscles					
P R K	6	3,14 ± 0,45	6	3,64 ± 0,28	115,92
Kp R	6	33,94 ± 0,35	6	31,45 ± 0,29	92,26
ATP + ADP	6	22,80 ± 1,33	6	22,94 ± 1,00	100,61
P R K	6	21,16 ± 3,44	6	13,66 ± 0,70	64,55
General R	6	310,0 ± 33,4	6	255,3 ± 14	82,34
Blood					
PDK	6	0,41 ± 0,03	6	0,31 ± 0,04	72,09
Kp R	6	0,72 ± 0,13	6	0,42 ± 0,03	58,33
ATP + ADP	6	2,92 ± 0,33	6	2,85 ± 0,16	97,60
H R	6	4,01 ± 0,32	6	2,51 ± 0,14	62,18
Calcium (mg%)	6	15,24 ± 0,48	6	11,20 ± 0,42	73,49
Bones 6					
Phosphorus is common	6	6514 ± 90	6	6139 ± 51	94,24
Calcium (mg%)	6	15740 ± 514	6	14811 ± 187	94,10

At the first stage of pregnancy, some parallelism is observed between the components to be determined. With a sharp increase in phosphatase activity in the second half of lactation, the content of labile phosphates and NF decreases, that is, in this period, an inverse relationship is observed between these components.

The obtained materials showed the presence of rather complex connections between alkaline phosphatase and the exchange of phosphorus compounds. As [7] showed, with the increase in the activity of alkaline phosphatase in blood serum, the level of NF increases. Similar results were observed when rabbits were irradiated with UV rays. But such dependence is not always manifested. There are known cases when an inverse relationship is found between the NF level and the activity of alkaline phosphatase, and this will be more natural and understandable. For example, with rickets in animals, high activity of the enzyme is often observed at a low level of NF.

How the activity of alkaline phosphatase changes in the mammary gland of rats during pregnancy is very clearly shown [1].



If we compare the activity of the enzyme in the blood of pregnant rabbits with the indicators of phosphatase activity in the mammary gland, it can be understood that during this period the activity of the enzyme in the blood falls due to the mobilization of alkaline phosphatase by the mammary gland.

It is possible that in the second half of lactation, the excretion of phosphorus with milk and a significant decrease in the reserves of this component in the body cause a low concentration of NF in the blood of animals. The need for growing baby chicks, which suck their mother's milk, is increasing every day. There is a persistent need for additional mobilization of phosphorus into the blood, and then into the milk. One of the ways of this mobilization is the increase in the activity of alkaline phosphatase, an enzyme that catalyzes the separation of NF from organic phosphorus compounds.

Thus, the increase in the activity of alkaline phosphatase in this case, as in rickets, should be considered as an adaptive act caused by a drop in the level of NF in the blood to values that are below the physiological norm.

One of the reasons for the increase in the activity of alkaline phosphatase in the blood of animals at the end of the lactation period is a drop in the level of metabolism in the mammary gland due to the attenuation of its function

References

1. Bondar V.O., Yarema M.A. The role of trace elements in the vital activity of animals. Actual problems of veterinary medicine: coll. materials of the XVI International scientific and practical conf. prof.-lecturer staff, graduate students and students, Kyiv. 2017. P. 45–46.
2. Veterinary obstetrics, gynecology and biotechnology of animal reproduction with the basics of andrology / edited by V. A. Yablonskyi and S. P. Khomin. Vinnytsia: Nova Kniga, 2006. 592 p.
3. Vorobel M. I., Pivtorak Y. I. Importance of microelements in the vital activity of animals. Science herald of LNUVM and BT named after S. Z. Gzhitskyi. 2011. No. 4 (50). T. 13. Part 3. P. 54–60.
4. Dovgii Yu.Yu., Senichenko V.Yu. Changes in morphological and biochemical indicators of blood in cows after the use of mineral complexes. Agrarian Bulletin of the Black Sea Coast: a collection of scientific papers. Veterinary sciences. 2019. Issue 93. P. 297–302.
5. Levchenko V.I. Distribution, etiology, features of the course and diagnosis of multiple internal pathology in high-yielding cows. Bulletin of the Bilotserki State Agrarian University. 2010. Issue 56. P. 97–102.
6. Prylipko T.M., Kostash V.B., Koval T.V. Alimentary improvement of the reproductive function of cattle: monograph. Kamianets-Podilskyi. Vit'ADruk, 2022. 390 p.
7. Prylipko T.M., Koval T.V. Age-related changes in animal tissues depending on the content of phosphorus compounds in the body. Taurian Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences. Kherson State Agrarian and Economic University. Kherson. Helvetica Publishing House. 2022. Issue 127. P. 298–304.



Анотація. Наведені результати дослідження фосфорного обміну при високому рівні лактації. В першій фазі лактації в крові корів знаходив високий вміст НФ, в наступні фази в зв'язку з виснаженням в організмі запасів фосфору, рівень НФ знижувався, а із закінченням лактації кількість НФ зростала знову. Відмічено, що в крові вагітних тварин спостерігається зростання концентрації піровиноградної кислоти. В сироватці крові крільчих в другій декаді вагітності наростає вміст фосфоніровиноградної кислоти (ФПК), а до кінця вагітності знижується, з початком лактації (підсисний період) рівень ФПК наростає знову, але в другій половині підсисного періоду (15-20 діб після окролу) він знижується, досягаючи до кінця лактації на 25-30 добу після окролу найнижчих величин. Вміст КрФ до середини вагітності значно зростає, до моменту окролу знижується, а до кінця підсисного періоду знову децю зростає. У проведених дослідках лактуючі самки забивались на 22-26 доби після окролу. Одночасно досліджувались тканини контрольних (нелактуючих) крільчих. Найбільш чіткі зміни виявляються лише у вмісті НФ. В печінці тварин зменшувався вміст ФПК, загального та неорганічного фосфату, в м'язах лише знижувався рівень НФ, а в крові не тільки НФ, але і КрФ. В кістках лактуючих крільчих рівень загального фосфору і кальцію був також децю зниженим. Результати дослідів переконують в тому, що при інтенсивно протікаючій лактації тварини мають значний дефіцит фосфору, що відображається на вмісті загального та неорганічного фосфору не тільки в крові, але й інших тканинах, зокрема – печінці, м'язах і кістках. В крові вагітних і лактуючих тварин між активністю лужної фосфатази і обміном фосфорних сполук спостерігається певна залежність.

Ключові слова: фосфор, елемент, тварини, фосфорилювання, кров, плід, раціон, інсоляція



УДК. 636.2. 0834.085. 2.11. 39.

**THE INFLUENCE OF DIFFERENT DIET RECIPES ON THE
PRODUCTIVITY OF A NEW POPULATION OF SIMMENTAL BEEF BEEF
BUGS IN DIFFERENT GROWING PERIODS WHEN HIGH CONDITIONS
ARE ACHIEVED IN THE CARPATHIAN REGION OF BUKOVINA
ВПЛИВ РІЗНИХ РЕЦЕПТІВ РАЦІОНІВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ НОВОЇ ПОПУЛЯЦІЇ
БУГАЙЦІВ М'ЯСНИХ КОМОЛИХ СИМЕНТАЛІВ В РІЗНІ ПЕРІОДИ
ВИРОЩУВАННЯ ПРИ ДОСЯГНЕННІ ВИСОКИХ КОНДИЦІЙ В УМОВАХ
КАРПАТСЬКОГО РЕГІНУ БУКОВИНИ**

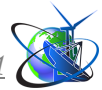
Kalynka A.K./ Калинин А.К.*Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher**Bukovyna State Agricultural Experimental Station of Institute of Agriculture of
Carpathian Region of NAAS***Lesyk O.B./Лесик О.Б.***s..a .s\ Ph.D**Agricultural Experimental Station of Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS**Буковинська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту сільського
господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України***Prylipko T.M./ Приліпко Т.М.,***d.a.s., prof. / д.с.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-8178-207X

Publons: AAF-5445-2019

*Higher education institution Podolsk State University, Kamianets-Podilskyi, Shevchenko,13,32300**Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»*

In the presented article, the question of the effectiveness of fattening of Bukhay cattle of a new population of the Bukovina zonal type of meat Komologo Simmental cattle, at an average level of feeding with the use of different feeds in ration recipes in percentage terms in different physiological periods of cultivation in the conditions of the Carpathian region of the Carpathians, is highlighted. It was established that during the 151 days of the first winter main period of the experiment, the average daily gains of the animals of the control group amounted to 589 g, which is 33 g (5,6%) and 86 g (14,6%) less than the same-age Boga animals of the first and second experimental groups where corn silage and hay age were separately included in the ration recipes. It was determined that the introduction of 10% haulage and 10% corn silage into the recipe of the diet of ruminants III - experimental group in terms of nutrition contributed to the growth of average daily gains of 775g, which is 166 g or 28% more than peers of the control group at the expense of 1 kg of gain 7,1 k. unit, which by 2,1 k. unit. less than control animals. On the prescription rations of the second winter period, during 179 days, the daily gains of bulls in the III experimental group amounted to 732 g, which is (6,0%) higher than peers of the control group, with feed consumption per 1 kg of gain of 11,6 units., which by 0,8 k. unit less than the people of Bugai, whose ration recipes contained fodder accepted in this controlled farm. In the research, it was found that with losses per 1 kg of growth, 121,5 MJ, consumption per 100 kg of live weight of 2,19 kg of dry matter, and also, with the concentration of exchangeable energy in 1 kg of dry matter, 9,1 MJ by Bugai cows of the III - research group contributed to obtaining the highest daily gains of 731 g for a full growing cycle from birth to 20 months of age with the achievement of a final live weight of 445 kg, which indicates a very high genetic potential of meat productivity The inclusion of 10% silage and 10% hay in the recipe of the ration of Bugai cattle of the III research group both in summer and in winter increased the number of erythrocytes in the blood by 0,24 million/ml³, hemoglobin by 0,32 g% and protein in the serum - by 0,32%, also higher alkaline reserve and carotene content - by 26 mg%.



Key words: Bugatti, rations, fodder, exchangeable energy, slaughter output.

Statement of the problem. In the conditions of military operations, one of the main problems of the high productivity of the new population of beef cattle is the use of cheap technology and high-quality feeding with low feed costs per unit of livestock production, which is most relevant in the conditions of the foothills of the Ukrainian Carpathians.

Currently, in the process of creating market relations, economic contradictions and problems of livestock production are becoming very acute, both in dairy and in meat cattle breeding. In the not-so-distant past, when the previously formed system of regulation was destroyed by administrative levers, without changing them by new market ones, it led to a decline in production and to a reduction in the sale of livestock products in the area of the Bukovyna region.

Therefore, the main task in solving the above problems belongs to the meat and livestock industry, as one of the main industries, the development of which contributes to the solution of the food problem in this region of the Ukrainian Carpathians.

Analysis of recent research and publications. Today, agrarian scientific zootechnical research has become more and more active regarding the development of promising cheap technologies for feeding young beef cattle, which is the most valuable for obtaining profitable beef for basic and subsidiary farms for breeding meat lump Simmentals for the Western Carpathian region.

In this regard, in order to realize the high genetic potential of meat productivity embedded in the proven ruminant breeds of this region, new developments and experimental justifications of the breed's own feeding technologies are needed, taking into account the regional features of the fodder base of the Carpathian zone.

In view of the above, due to the various reasons for feeding beef cattle, where straw and silage with low energy concentration prevail, both for agricultural science and for production, an important condition is not only to identify the genetic meat potential of animals, but also to identify them in optimal conditions with the use of different ration recipes, when hereditary predispositions in ruminants are most fully manifested, and to study their economic value in the production conditions of the Carpathian region of Bukovyna.

At the same time, one of the important basic factors in the new conducted research was to prove the justification of the concentration of exchangeable energy in the dry matter of fodder, recipes of rations and their structure in different periods of growing Boga cattle of the meat direction of productivity at an average level of feeding in this controlled region of the Carpathians [2,8].

For the first time in our research, the following issues were planned: patterns of consumption of exchangeable energy and dry matter per 100 kg of live weight of cattle in age dynamics, concentration of exchangeable energy and structure of rations by period, influence of different concentration of exchangeable energy in dry matter of fodder on slaughter indicators, meat productivity and beef quality of experimental animals [4,6].

Therefore, our goal is to study for the first time the features and effectiveness of various models of ration recipes on the fattening qualities of Bukovyna zonal type of



meat Komologo Simmental cattle at an average level of feeding with the use of different feeds in a percentage ratio in different physiological periods of cultivation in the conditions of the foothill zone of the Chernivtsi region.

Presentation of the main research material. Scientific and economic research was carried out in the SE "Chernivetske" village. Tsuren, Hertsav district, Chernivtsi region, in the beef production shop on four groups of cattle of the new population of the Bukovyna zonal type of meat Komologo Simmental cattle in each of 10 heads with an average live weight at the beginning of the experiment of 110 - 116 kg in 3 months. of age, which were grown up to 20 months of age according to the developed scheme:

Scheme of a scientific and economic experiment

Groups	Number of heads	Peculiarities of animal feeding in the main period of the experiment	
		IN SUMMER	IN WINTER
Control group	10	Basic ration (OR): green mass - 70%, final feed - 30%	Basic ration (OR): barley straw, hay, corn silage
I - experimental	10	OR: 50% - green mass, 20% - corn silage, 30% - final feed	OR: corn silage - 20% in terms of nutrition
II – experimental	10	OR: 50% - green mass, 20% - hay, 30% - final fodder	OP: + hay - 20% in terms of nutrition
III- experimental	10	OR: 50% - green mass, 10% - corn silage, 10% - hay, 30% - final fodder	OP: + 10% corn silage + 10% hay for nutrition
IV– experimental	10	OR: 50% - green mass, 20% - corn silage, 30% - final feed + stimulant	OR: 20% - corn silage, 30% - final feed + stimulant

In researches, meat ruminants are fed twice a day, and they are kept captive. Distribution of fodder in batches. Concentrated feeds were fed in a dry state. According to the digested protein, the rations for the experimental bulls of all five groups were equalized according to the adopted new detailed norms for beef cattle.

Therefore, all ration recipes were balanced according to the new norms, taking into account live weight and average daily gains of 700 - 800 g [1,5]. They kept a group account of the consumed feed by weighing the given and their residues. The growth of Bugai children was calculated based on the results of monthly weighing. Each period of the experiment began and ended with an individual weighing of the Bugai people.

Control over the intensity of the growth of experimental animals was carried out by weighing them individually at the beginning of grazing on cultivated pastures and at the end of the accounting period of research. In the preparatory and final periods, the Bugai cattle were on the diet adopted in the controlled farm.

At the end of the research, with the achievement of the average live weight of 421-430 kg by the bulls, a control slaughter of three animals from each group was



carried out. The need for exchangeable energy was calculated on the basis of an assessment of the actual nutritional value of feed, taking into account the concentration of energy available for exchange in 1 kg of dry matter of feed.

Biometric processing of the results of the test indicators was carried out according to the methods described in such publications under the editorship [7,9].

Research materials were processed by the method of variational statistics using a personal computer.

Research results. Due to the use of fodder, the following amount of products was obtained by the research cattlemen. It was established that during the 151 days of the I - winter main period of the experiment, the average daily gains of the animals of the control group amounted to 589 g, which is 33 g (5.6%) and 86 g (14.6%) less than those of Bugai animals of the same age as the I and II - experimental groups where corn silage and haylage were included in the ration recipes.

According to the results of the developed scheme of the experiment, it was established that the introduction of 10% hay and 10% corn silage into the recipe of the diet of Bugays III - experimental group in terms of nutrition contributed to the growth of average daily gains of 775 g, which is 166 g or (28%) more than peers of the control group with expenses per 1 kg of increase of 7.1 k. units, which by 2.1 k. units. less than control animals. For the entire 1st winter period, each head of this group received an additional 25 kg of growth.

So, feeding hay and corn silage to cattle up to 7 months of age in the winter period contributed to a stable increase in daily gains of 755 g, while paying for feed with products by 2.1 k. od. less compared to the control.

Our conducted research proved that during 123 days on summer prescription diets with a combined type of feeding using fodder from storage and green fodder in the amount of 50% in terms of nutrition, the growth energy of bulls of the II and III experimental groups amounted to 707 g and 732 g, which on (1.1% and 4.7%) more than the control. For 1 kg of growth in the III experimental group, 9.8 units were spent, which is lower than 0.5 units. and for analogues - control. On the rations of the second winter period of the experiment, during 179 days, the daily gains of bulls in the III - experimental group amounted to 732 g, which is 6.0% higher than peers of the control group, with feed consumption per 1 kg of gain of 11.6 units. which is 0.8 fodder units less than the animals whose ration recipes contained fodder accepted in this base farm. Over the entire research period of 454 days, the increased growth energy was preserved in the III experimental group, which was 731 g, which is 73 g (11.6%) more than the control, with a feed consumption of 8.9 k.u., and at 0.8 k. unit less than the 1st research group.

In the conducted studies, the main indicators of exchangeable energy concentration, actual consumption of energy and dry matter per 100 kg of live weight of Bugai cattle were determined according to the periods of the studies and are shown in (Table 2).

According to the data (Table 2), it was established that the consumption per 100 kg of live weight of the exchangeable energy in Bugai residents of III - research group in the second winter period is 19.8 MJ, which is 2.3 MJ less than peers of the control.



Table 2 - Concentration of exchangeable energy and dry matter per 100 kg live weight of animals

GROUP	Period	Duration of the period, days	Growth during the growth period, kg	of dry matter, Concentration of exchangeable energy in 1 kg MJ	Costs per 1 kg of gain		Consumption per 100 kg of live weight	
					Exchange energy, MJ	Code	Exchange energy, MJ	Dry matter, g
Control group	The first winter	151	89	9,2	105,6	9,2	30,8	3,36
I - experimental			93	9,6	103,9	10,8	31,2	3,25
II – experimental			103	9,23	89,5	9,6	27,8	3,01
III-experimental			111	9,4	83,4	8,9	26,8	2,86
			96,6					
Control group	The first summer	123	87	8,8	101,0	10,3	24,5	2,79
I - experimental			86	8,5	96,9	10,3	23,4	2,76
II – experimental			87	8,3	104,5	10,2	24,2	2,92
			90,1 86,1					
Control group	The second winter	179	124	10,2	131,3	12,3	22,1	2,16
I - experimental			128	10,1	124,5	11,7	22,2	2,10
II – experimental			124	9,6	128,7	12,1	21,3	2,20
III-experimental			131	9,1	121,5	11,6	19,8	2,19
			126	9,1	104,4	9,1	30,1	3,31

With the consumption of 1 kg of live weight gain, the exchangeable energy of Bugai cows of the III - experimental group is 121.5 MJ, and the consumption of feed units is 11.6 kg, which is 0.7 feed units less than the control. At the same time, the concentration of exchangeable energy in 1 kg of dry matter was 9.1 MJ.



Data analysis shows that the general age pattern is a decrease in the consumption of dry matter and exchangeable energy per unit (100 kg) of live weight. At the same time, it was established that an increase in energy concentration from 8.6 to 9.1 MJ/kg of dry matter in the dairy growing period contributed to a decrease in the consumption of dry matter per 100 kg of live weight, but due to the higher concentration, the total daily consumption per head did not decrease and was slightly larger among the people of Bugai of the control and I - experimental groups.

Thus, with losses per 1 kg of gain of 121.5 MJ, consumption per 100 kg of live weight of 2.19 kg of dry matter, and also, at a concentration of exchangeable energy of 1 kg of dry matter of 9.1 MJ, by Bogays of the III - research group, they contributed to obtaining the highest daily gains of 731 g for a full cycle of growing from birth to 20 - months of age with reaching a final live weight of 445 kg, which indicates a very high genetic potential for meat productivity of the offspring of a new population of beef cattle bred in the Carpathian zone.

Therefore, taking into account this biological regularity, there is a need to create the necessary physiological conditions for maximum digestibility and assimilation of nutrients and energy of feed, in order to compensate for this decrease in energy consumption per unit of body weight and, thus, to ensure a high genetic intensity of growth of animals of this meat cattle.

The rational use of energy, feed protein per 1 kg of increase in live weight and slaughter weight by cattle was studied.

Table 3 - Consumption of substances per 1 kg of live weight gain.

INDEXES	GROUP				
	Control group	I-experimental	II-experimental	III-experimental	IV-experimental
For 1 kg of live weight gain					
Exchange energy, MJ	96,9	105,1	107,6	96,8	96,8
Dry substances, kg	10,6	10,0	9,5	9,0	10,7
Fodder units, kg	9,7	9,4	9,0	8,9	9,6
Digestive protein, g	997	970	955	890	998
Final feed, kg	2,4	1,7	1,4	1,3	
Per 1 kg of slaughter weight					
Exchange energy, MJ	165	170	174	158	163
Dry substances, kg	16,9	16,2	15,3	14,7	15,8
Fodder units, kg	15,5	15,3	14,6	14,5	15,1
Digestive protein, g	1596	1570	1542	1453	1590
Final feed, kg	3,8	2,7	2,2	2,1	
For 1 kg of carcass pulp					
Exchange energy, MJ	86,3	84,3	84,8	78,4	85,6
Dry substances, kg	8,5	8,4	7,5	7,3	8,4
Fodder units, kg	8,1	7,6	7,1	7,2	8,0
Digestive protein, g	834	779	753	722	835
Final feed, kg	2,0	1,3	1,1	1,1	1,9



According to the data (Table 3), cattle of the III - experimental group spent 96.8 MJ of exchangeable energy, 9.0 feed units of dry matter, 8.9 of digestible protein, 890 g of digestible protein, and 1.3 of concentrated feed per 1 kg of live weight gain. kg less than the control by 0.3, 1.6, 0.8, 107 and 1.1.

It was established that for 1 kg of slaughter weight, Bugai cattle, which were fed corn silage and haylage at 10% nutritionally for a long time in the ration recipe, spent 158 MLd (9.5%) of exchangeable energy, 14.7 kg (8.7%) of dry matter, k. od. 14.5 (9.3%), digestible protein 1453 g (9.1%) and feed 2.1 (5.5%), less than peers of the control.

In order to study the meat productivity when reaching a pre-slaughter live weight of 450 kg, a control slaughter of Bugai cattle was carried out at the meat processing plant at the age of 20 months, 4 heads from each group.

It was established that the slaughter yield in the animals of the III - research group was 53.4%, which is 1.8% more, the weight of the paired carcass was also 19 kg more than the control. Thus, in terms of slaughter weight, bulls of the III - research group exceeded the animals of the control group by 15 kg ($p < 0.05$), and also by 2.7% in terms of carcass yield. The mass of internal fat in bulls of the III - experimental group was 7.3 kg, which is 1.4 kg (23.7%) more than peers of the control group.

Thus, bulls of III - experimental group, which are characterized by higher slaughter indicators (slaughter yield 53.4%, carcass yield 51.3%, slaughter weight 235 kg, weight of paired carcass - 228 kg in comparison with the control and I - experimental groups Carcasses obtained from animals of III - research group are characterized by better fullness and muscularity of the thigh.

To determine the quality of meat products, the morphological composition of animal carcasses was studied. The results of deboning carcasses according to the scheme of sausage production. The data analysis shows that bullocks of the III - experimental group in terms of muscle tissue yield of 90.2 kg in the carcass exceeded the control and experimental groups by 11.6 and 6.3 kg of meat, respectively. There was no significant difference between the groups in terms of yield per 100 kg of pre-slaughter mass, pulp, tendons and bones, but the Boga cattle of the III experimental group had 2.1 kg (11.4%) more pulp than the control.

During the control slaughter, the mass of internal was determined organs of experimental animals.

As shown by the data (Table 4), no significant differences between the groups of animals were observed in the mass of the lungs, liver, heart, kidneys, and spleen. The weight of all organs was within the physiological norm and depended only on the pre-slaughter weight of the animal. However, the weight of the liver in the III-experimental group was 6.1 kg, which is 0.45 g more than peers of the control group.

4 hours before slaughter, blood was taken from the experimental Bugai cattle. The inclusion of 10% silage and 10% haylage in the recipe of the ration of the III experimental group both in summer and in winter increased the number of erythrocytes in the blood by 0.24 million/ml³, hemoglobin by 0.32 g% and protein in the serum - by 0.32%, also higher alkaline reserve and carotene content - by 26 mg%. No difference was observed in the rest of the blood parameters of individual Bugai



cattle.

Table 4 - Absolute mass and index of internal organs of Bugai cattle, kg (M±t)

bodies	GROUP								
	Control group	%	I-experim ental	%	II-experim ental	%	III - experim ental	%	IY - experim ental
Lungs	3,75±0,2	0,88	3,39±0,8	0,79	3,9±0,9	0,90	4,840,5	0,11	3,91±0,3
Liver	5,65±1,5	1,3	5,90±0,4	1,4	5,8±0,5	1,3	6,1±0,8	1,4	5,7±1,3
Heart	1,62±0,2	0,38	1,9±0,05	0,44	1,5±0,2	0,35	1,8±0,2	0,41	1,5±0,4
Kidney s	1,2±0,04	0,28	1,3±0,05	0,30	1,32±0,03	0,34	1,12±0,14	0,2	1,4±0,02
Spleen	0,72±0,07	0,16	0,82±0,09	0,19	0,66±0,2	0,15	0,01±0,9	0,22	0,35±0,04

Conclusions and suggestions. The use of long-term in the recipes of the diets of the Bugai cattle of the new population of the Bukovyna zonal type of meat Komologo Simmental livestock in a combination (hay + corn silage) contributes to the growth of daily gains of 755 g with feed consumption of 8.9 k. units. (121 MJ of exchangeable energy) per 1 kg of growth, a sufficient concentration of exchangeable energy in 1 kg of dry matter of the adopted type of feed can be considered to be 9.1 MJ on average for a full growing cycle at an average level of feeding in the conditions of the foothills of Bukovyna.

The inclusion in the recipe of the ration of Bugai cattle of the new generation meat Komologo Simmental cattle in a combination of corn silage 10% and haylage 10% in terms of nutritional value of the ration increases the output of the paired carcass by 2.7%, the weight of the paired carcass by 19 kg (9.1%), slaughter yield by 1.8% and yield of muscle tissue by 11.6 kg (14.7%) from peers of the control group in the conditions of the foothill zone of the Carpathian region of Bukovyna.

References

1. Bogdanov G. O., Melnychuk D. O. Current issues of feeding agricultural animals. Scientific Bulletin of NAU. 2004. No. 74. P. 21–30.
2. Ibatullin, M.I. Bashchenko, O.M. Zhukorsky Handbook on complete feeding of farm animals. Kyiv. Agar science. 2016. 336 p
3. Norms and rations of complete feeding of highly productive cattle: reference manual / Bogdanov G.O. et al.; under the editorship G. O. Bogdanova, V. M. Kandyby Kyiv: Agrarna nauka, 2012. 296 p.
4. Kazmiruk L.V., Kalinka A.K. Breeding of cattle of planned breeds and their crossbreeds using different technologies of maintenance and feeding in the dairy period in the conditions of the Bukovyna region. Agrarian science and food technology. 2019. Issue 5 (108). T. 1. P. 66-75.



5. Kozyr V. S., Solovyov M. I. Comparative evaluation of livestock of factory types of Ukrainian meat breed. Scientific reports of NUBiP of Ukraine. 2017. No. 6 (70). 11 p.

6. Kozyr V. C. Characteristics of beef of meat, combined and dairy cattle breeds. Animal husbandry of Ukraine. 2013. No. 7–8. P. 26–29.

7. Kozyr V. S., Solovyov M. I. Comparative evaluation of livestock of factory types of Ukrainian meat breed. Scientific reports of NUBiP of Ukraine. 2017. No. 6 (70). 11 p.

8. Kalinka A.K., Lesyk O.B., Prylipko T.M., Korkh I.V. The effect of different ration recipes on the productivity of ruminant young meat Komologo Simmental in the zone of the Carpathian region of Bukovyna. Taurian Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences / Kherson State Agrarian and Economic University. Odesa: "Helvetika" Publishing House. 2022. Vol. 126. P.121-130.

Анотація. Висвітлено в представленій статті питання ефективності відгодівлі бугайців нової популяції буковинського зонального типу м'ясного комолого сименталу худоби, при середньому рівні годівлі з використанням різних кормів в рецептах раціонів у процентному відношенні в різні фізіологічні періоди вирощування в умовах Карпатського регіону Карпат. Встановлено, що протягом 151 днів I зимового основного періоду досліді середньодобові прирости тварин контрольної групи становили 589г, що на 33 г (5,6%) і на 86 г (14,6%) менше від бугайців аналогів - ровесників I і II- дослідних груп, де в рецептах раціонів де окремо знаходився кукурудзяний силос і сінаж. Визначено, що введення до рецепту раціону жуйних III - дослідної групи сінажу 10% і силосу кукурудзяного 10% по поживності сприяло зростанню середньодобових приростів 775 г, що на 166 г або на 28% більше за ровесників контрольної групи при витратах на 1 кг приросту 7,1 к. од., що на 2,1 к. од. менше за тварин ровесників контролю. На рецептах раціонів другого зимового періоду, протягом 179 днів, добові прирости бугайців в III дослідній групі становили 732 г, що на (6,0%) вище за ровесників контрольної групи, при витратах корму на 1 кг приросту 11,6 к. од., що на 0,8к. од. менше за бугайців, в рецептах раціонів яких були корми, прийняті в даному підконтрольному господарстві. В дослідженнях виявлено, що при втратах на 1 кг приросту 121,5 МДж, споживання на 100 кг живої маси 2,19 кг сухої речовини, а також, при концентрації обмінної енергії в 1 кг сухої речовини 9,1 МДж бугайцями III - дослідної групи сприяли отриманню найбільш високої добової прирости 731г за повний цикл вирощування від народження до 20 місячного віку з досягненням кінцевої живої маси 445 кг, що свідчить про дуже високий генетичний потенціал м'ясної продуктивності. Включення до рецепту раціону бугайцям III дослідної групи 10% силосу і 10% сінажу як в літній, так і в зимовий періоди, підвищувало в крові кількість еритроцитів на 0,24 млн./мл³, гемоглобіну на 0,32 г % та білку в сироватці – на 0,32%, також вищий лужний резерв і вміст каротину – на 26 мг%.

Ключові слова: Бугайці, раціони, корм, обмінна енергія, забійний вихід



CONTENTS

Mechanical engineering and machinery

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-016> 3

METHOD OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF CUTTING HIGHLY ABRASIVE MATERIALS WITH ABRASIVE REINFORCED CIRCLES

Pochka K.I., Abrashkevych Yu.D., Prystailo M.O., Polishchuk A.G.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-023> 17

SOME ISSUES OF PRACTICAL TRAINING OF MECHANICAL STUDENTS

Kisietov J. V.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-073> 23

RESTORATION OF WORN PARTS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT BY PLASTIC DEFORMATION

Ivankova O.V., Bartosh V. Yu., Obshchyy YA. O., Kisil Yu.Yu.

Engineering instruments, meters, etc. Industrial instrumentation

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-079> 30

FILTERING OF THE OUTPUT SIGNAL OF THE TWO-CHANNEL TRANSFORMER GRAVIMETER

Bezvesilna O.M., Kyrychuk Y.V., Hrynevych M.S., Tolochko T.O.

Electrical engineering. Electronics. Nuclear engineering

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-040> 36

DIFFICULTIES IN MODELING PROCESSES IN THE ZONES BEFORE ENTERING THE EXTRUDER MATRIX AND IN THE EXTRUDER MATRIX AND THEIR SOLUTION BY CREATING A UNIVERSAL MATHEMATICAL MODEL

Radchenko N. L., Ivanitsky G. K., Tselen B. Ya., Nedbailo A. Ye.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-043> 42

SOFT START DEVICE INTRODUCTION AS A WAY TO ENERGY EFFICIENCY OF THE ENTERPRISE

Fedoriv M.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-052> 48

PAVLOVNIA AS A RENEWABLE SOURCE OF ENERGY

Iesipov O. V., Polyashenko S. O., Sorokin S. P.

**Mining engineering. Metallurgy**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-012> 54

MATERIAL SCIENTIFIC ASPECTS OF CARDBOARD CONTAINERS

Kolianovska L.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-036> 68

**REGULARITIES OF SPHEROIDIZATION OF CARBIDES IN
HIGH-SPEED STEELS DURING ANNEALING**

Movchan O.V., Chornoivanenko K.O.

Animal products. Cereals and grain. Milling industry

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-010> 78

ECHNOLOGY AND TECHNIQUE OF GRAIN DRYING

Kolianovska L.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-011> 92

TECHNOLOGICAL SCHEMES OF OILSEEDS PROCESSING

Kolianovska L.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-028> 109

**HYDRODYNAMIC SPEED MODES OF THE LIQUID AND GAS
PHASES**

Stadnuk I.Y., Piddubnyi V.A., Havrylko P.P.

Hushtan T.V., Kahanets-havrylko L.P.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-059> 121

**EXCHANGE OF PHOSPHORUS COMPOUNDS IN PREGNANT
AND LACTATING ANIMALS**

Prylipko T.M., Koval T.V.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit25-01-060> 127

**THE INFLUENCE OF DIFFERENT DIET RECIPES ON THE
PRODUCTIVITY OF A NEW POPULATION OF SIMMENTAL
BEEF BEEF BUGS IN DIFFERENT GROWING PERIODS WHEN
HIGH CONDITIONS ARE ACHIEVED IN THE CARPATHIAN
REGION OF BUKOVINA**

Kalynka A.K., Lesyk O.B., Prylipko T.M.



International periodic scientific journal

MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und
innovative Technologien

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
high impact factor (ICV: 87.25)

Issue №25
Part 1
February 2023

Development of the original layout - Sergeieva&Co

Signed: February 28, 2023

Sergeieva&Co
Lußstr. 13
76227 Karlsruhe
e-mail: editor@modern techno.de
site: www.modern techno.de

Articles published in the author's edition





www.moderntechno.de

e-mail: editor@moderntechno.de