

**INFLUENCE OF DYNAMIC IRREGULARITY OF PADDY MACHINE  
WORKTABLE OSCILLATIONS ON GRAIN MIXTURE SEPARATION**

V. Koshul'ko\*, Y. Chursinov, N. Sova

*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

**AM**  
**СМ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

**ABSTRACT**

*Paddy machines are widely used to separate various bulk products, but until now there have been no engineering methods for their technological calculation and there is no consensus on the physical nature of the process. Separation of grain products and other bulk mixes usually takes place under conditions of limited movement of material particles, which have different geometric and physical and mechanical properties and also interact with each other in a random manner. This makes it difficult to model the grain mix separation process. The aim of the study is to increase the efficiency of the grain mix separation process on the paddy machine by reducing the dynamic unevenness of the worktable oscillations. After studying the scheme of forces acting on various design elements of the paddy machine, in particular the worktable, fixing and supporting wheels, as well as the bearing, differential equations were obtained for the plane-parallel movement of the working surface and for the movement of the elements of the paddy machine during braking of the table during reciprocating motion. A program for numerical integration of the equation of the table motion was developed, the implementation of which showed that the highest values of angular velocity occur at the beginning of the acceleration of the table and at the end of its braking, when the speed corresponds to the synchronous frequency of rotation. During the research, it was found that the wear of the supporting surfaces cannot exceed 0.25 mm. It was also found that during the first 480 hours of operation, the wear on each side of the support frame was 0.2 mm and for the total period – 0.96 mm on each side. Therefore, the total wear on both sides was 1.92 mm. At the stage of the first 480 hours, the work of the table was stable, but after 720 hours of operation, whipping began, which negatively affected the efficiency of the separation process. Therefore, the improvement in the design of the paddy machine, which is possible taking into account the recommendations developed, causes a known reduction in the contact forces that occur in the case of interaction between the carrier and the table, as a result of which the wear of the contact surfaces is inevitably reduced.*

**Key words:**

grain mix,  
grain separation process,  
simulation of grain separation,  
efficiency of grain separation,  
operation of grain separators

**Article history:**

Received 11.05.2023

Accepted 14.06.2023

**\*Corresponding author:**

koshulko.v.s@dsau.dp.ua

**DOI:** 10.36910/acm.vi49.1024**To cite this article:**

Koshul'ko, V., Chursinov, Y., & Sova, N. (2023). Influence of dynamic irregularity of paddy machine worktable oscillations on grain mixture separation. *Agricultural Machines*, 49, 90-98. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1024>

УДК 621.928.15

**ВПЛИВ ДИНАМІЧНОЇ НЕРІВНОМІРНОСТІ КОЛИВАНЬ РОБОЧОГО СТОЛУ ПАДДІ-МАШИНИ НА СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ****В.С. Кошулько\*, Ю.О. Чурсінов, Н.А. Сова***Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна*

AGRICULTURAL MACHINES

**АМ  
СМ**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

**АНОТАЦІЯ**

Падді-машини широко використовуються для сепарування різних сипких продуктів, але до теперішнього часу відсутні інженерні методи їх технологічного розрахунку та немає єдиної думки щодо фізичної суті процесу. Сепарування зернових продуктів та інших сипких сумішей, як правило, проходить в умовах обмеженого руху частинок матеріалу, які мають різні геометричні та фізико-механічні властивості, а також взаємодіють між собою випадковим чином. Це ускладнює опис процесу сепарування. Мета дослідження – підвищення ефективності сепарування зернових сумішей на падді-машині шляхом зменшення динамічної нерівномірності коливань робочого стола. Після дослідження схеми сил, які діють на різні складові падді-машини, зокрема сортувальний стіл, фіксуючі й несучі колеса, а також підшипник, були отримані диференціальні рівняння для плоско-паралельного руху робочої поверхні та для руху елементів падді-машини упродовж гальмування столу під час зворотно-поступального руху. Розроблено програму чисельного інтегрування рівняння руху стола, реалізація якої показала, що найбільші значення кутової швидкості виникають на початку розбігу стола та в кінці його гальмування, коли швидкість відповідає синхронній частоті обертання. Під час дослідження було встановлено, що зношування опорних поверхонь не може перевищувати 0,25 мм. Також було встановлено, що за перші 480 год роботи зношування складо 0,2 мм з кожного боку опорної рами, а за весь проміжок – 0,96 мм з кожного боку. Отже, загальне зношування обох боків становило 1,92 мм. На етапі перших 480 год робота стола була стійкою, однак за напрацювання 720 год почалися прояви биття, що негативно впливає на ефективність процесу сепарування. Отже, удосконалення конструкції падді-машини спричиняє значне зменшення зношення контактних поверхонь.

**Ключові слова:**

зернова суміш,  
сепарування зерна,  
моделювання сепарування  
зерна,  
ефективність сепарування зерна,  
експлуатація зернових  
сепараторів

**Історія публікації:**

Отримано 11.05.2023

Затверджено 14.06.2023

**\*Автор для листування:**

koshulko.v.s@dsau.dp.ua

DOI: 10.36910/acm.vi49.1024

**Цитувати цю статтю:**

Кошулько, В. С., Чурсінов, Ю. О., & Сова, Н. А. (2023). Вплив динамічної нерівномірності коливань робочого столу падді-машини на сепарування зернових сумішей. *Сільськогосподарські машини*, 49, 90-98. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1024>

## СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сепарування зернових продуктів та інших сипких сумішей, як правило, проходить в умовах обмеженого руху частинок матеріалу, які мають різні геометричні та фізико-механічні властивості, а також взаємодіють між собою випадковим чином (Алієв, 2019).

Властивості зернової маси та якість сепарування зерна – це основні параметри, що використовуються в технології перероблення зерна та характеризують випадковий розподіл складових зернової суміші та перебіг процесу сепарування (Шевченко та ін., 2019). Ці характеристики ускладнюють детермінований (динамічний) опис процесу сепарування та застосування методів обчислення показників якості процесу, які ґрунтуються на динамічних моделях цього процесу (Тищенко, 2004).

Робочі органи вібраційних сепараторів (Шевченко & Алієв, 2021) та падді-машин (Кошулько та ін., 2012) мають канали з гладким днищем та зигзагоподібними стінками, які складаються з трикутних призм із перемичками. Канали мають невеликий нахил в напрямку основи призми і здійснюють прямолінійні коливання в горизонтальній площині (рис. 1), що перпендикулярна їхній поздовжній осі. За такого руху частинки зернової маси відштовхуються по черзі від правої та лівої стінки, що спричиняє їх самосортування та розшарування суміші. Нелущене зерно, що розташоване у верхніх шарах суміші, рухається вгору каналу, а лущене – виходять з каналу, рухаючись вниз.

На частинку продукту, що потрапила до каналу, діють: сили інерції, які виникають при

ударі частинок по бокових стінках каналу; сила ваги частинки; сили тертя між стінками, днищем та частинкою. Сили співудару частинок по бокових стінках спрямовані перпендикулярно боковим стінкам елементу і спрямовують частинку вгору, оскільки одна із складових сил спрямована вгору, а інша – паралельно основі. Сила ваги спричиняє рух частинки вниз (Aliiev et al., 2019; Shevchenko et al., 2021; Возняк та ін., 2021).

За певних значень кута нахилу, частоти та амплітуди коливань, сили, що діють на частинку матеріалу, будуть збалансовані, що дозволить частинці здійснювати гармонічні коливання в певному місці каналу, де відстань між стінками становить  $L_{кр.}$  (рис. 1, б). Ця відстань називається критичною координатою. Однак, в реальних умовах такий режим руху частинки є нестійким, і будь-яке збурення виведе частинку з цього режиму. Якщо частинка матеріалу випадково потрапить вище критичної координати, то сила ударів в цій зоні зросте і частинка буде переміщуватися вгору. З іншого боку, якщо частинка опиниться нижче критичної координати, то вона буде переміщуватися вниз. Критична координата залежить не лише від параметрів каналу, налаштувань та кінематичних параметрів машини, але й від ударно-фрикційних властивостей частинки матеріалу. Що більш пружна частинка, то менше значення  $L_{кр.}$ , тобто тим нижче вона буде розташована. Якщо більш пружну частинку помістити між критичними координатами, то вона буде переміщуватися вгору. З іншого боку, менш пружна частинка переміщується вниз (Кошулько & Тимчак, 2022).

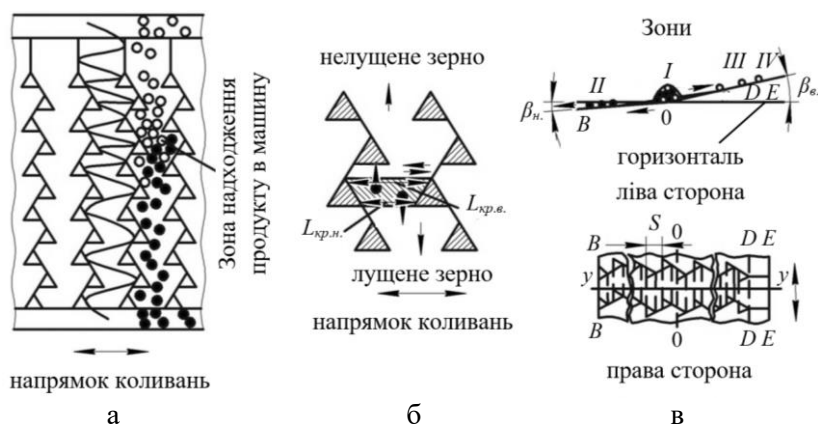


Рис. 1 – Сортиувальний стіл падді-машини (Кошулько та ін., 2012):

а – схема розташування каналів; б – розташування елементу каналу;

в – січення робочого каналу (I – зона сепарування; II, III, IV – зони виходу фракцій матеріалу)

Висота трапеції повинна бути меншою за різницю критичних відстаней аби забезпечити достатньо високу ефективність відокремлення необхідної фракції. За послідовного з'єднання кількох елементів в каналі збільшується ймовірність спрямованого руху частинок матеріалу з різними властивостями, що може підвищити ефективність відокремлення необхідної фракції. Якщо більш пружні частинки (нелущене зерно) розташовані у верхньому шарі суміші, це може сприяти високій ефективності відокремлення. Однак фізичні властивості частинок матеріалу та їх суміші значно відрізняються, що ускладнює процес відокремлення, оскільки варіаційні криві цих властивостей значно перекривають одна другу (Козаченко та ін., 2021).

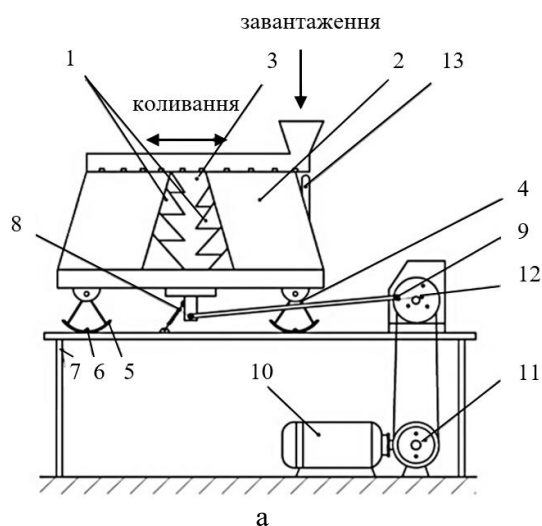
Падді-машини широко використовуються для сепарування різних сипких продуктів, але до теперішнього часу відсутні інженерні методи їх технологічного розрахунку та не існує єдиної думки щодо фізичної суті процесу, що має місце у відомих конструкціях падді-машин.

**Мета дослідження** – підвищення ефективності сепарування зернових сумішей на робочому столі падді-машині шляхом зменшення динамічної нерівномірності його коливань.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження впливу на процес сепарування зернових сумішей динамічної нерівномірності коливань робочого стола падді-машини проводилися в два етапи: теоретичний та експериментальний. Як відомо, робота падді-машини завжди супроводжується зношуванням контактних поверхонь столу та фіксуєючих коліс. Одним із недоліків падді-машин є інтенсивне зношування контактних поверхонь столу та підшипника водила під час її роботи і, як наслідок, необхідність досить часто проводити відновлення контактуючих поверхонь враховуючи, що сила тертя, яка є причиною зношування, залежить від навантаження. Першим етапом (теоретичним) було визначення причин, що спричиняють зношування, та шляхів уникання чи суттєвого зменшення зношування поверхонь столу та фіксуєючих коліс. Теоретичні дослідження виконані із використанням класичних методів теоретичної механіки.

Другим етапом було дослідження процесу віброударного сепарування зернових сумішей на експериментальній падді-машині, схема якої подана на **рис. 2**. Дослідження проводили на суміші вівса, яка містила лущене та нелущене зерно вологістю 12,5–14,0%. Вміст смітних домішок (вівсюга) становив до 5%, а пилу – 0,23%.



**Рис. 2** – Конструктивно-технологічна схема (а) та загальних вигляд (б) експериментальної падді-машини:

1 – похилий стіл; 2 – стінки; 3 – зигзагоподібний канал; 4 – стійка; 5 – сегментно-подібний елемент; 6 – стопорний болт; 7 – станина; 8 – кронштейн; 9 – кривошипно-шатунний механізм; 10 – клинопасова передача; 11 – редуктор; 12 – болт; 13 – пристосування для регулювання амплітуди зворотно-поступального руху

Методика експериментальних досліджень передбачала завантаження вівса після лушення в робочий елемент сортувального столу, де проводилося сепарування суміші. Перед сепаруванням вміст нелущеного вівса у зерновій масі становив 25%. Також методика проведення експерименту передбачала оцінювання результатів сепарування, що проходило шляхом відбирання проб зерна масою 500 г з подальшим їх розбиранням на лущене та нелущене зерно. У такій спосіб визначали вміст нелущеного зерна в лущеному після сепарування та вміст лущеного зерна в нелущеному. Результати фіксувалися та обчислювалися у відсотках.

Розроблено спеціальний лоток для визначення продуктивності каналу, в який засипалося лущене зерно упродовж хвилини. Під час експерименту змінювався кут нахилу сортувального столу машини, який визначався кутоміром, а положення сортувального столу фіксувалося болтом та гайкою, зажатим в пазу кутоміра. Частота коливань сортувального столу регулювалася за допомогою редуктора та клинопасової передачі. Амплітуда коливань налаштовувалася шляхом зміни довжини тяги кривошипно-шатунного механізму. Частота коливань сортувального столу регулювалася за допомогою частотного перетворювача. Відстань між стінками робочого каналу налаштовувалася шляхом пересування однієї із стінок каналу. Ступінь завантаження сировини (продуктивність) регулювали за допомогою щільного дозатора живильного пристрою.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Розглянемо рух колеса протягом одного робочого циклу столу машини (рис. 3). На етапі прискореного руху столу під натиском водила внаслідок моментної дії сили  $S_n$  стіл буде притискатися до однієї пари фіксуєчих коліс в точках  $A$  та  $B$ . Силами зчеплення  $S_A$  та  $S_B$  фіксуєчі колеса будуть розкручуватися до максимальної швидкості, при цьому кут  $\varphi$ , що визначає положення водила змінюється від 0 до  $\pi/2$ .

На етапі гальмування стіл, стримуючись водилом, буде притискатися до другої пари фіксуєчих коліс, а сили взаємодії в точках  $A$  та  $B$  зникнуть, що дозволяє колесам, які вийшли із зачеплення зберігати максимальну кутову швидкість до повної зупинки столу в

крайньому положенні, для якого кут  $\varphi = \pi$ . Зростання кута  $\varphi$  спричиняє зачеплення коліс в точках  $A$  та  $B$ .

Стіл при  $\varphi \geq \pi$  починає розганятися від нульової швидкості, водночас фіксуєчі колеса мають швидкість близьку до максимальної, а це спричиняє зношування. Для уникнення зношування необхідно забезпечити умови, за яких фіксуєчі колеса не будуть виходити із зачеплення на етапі гальмування.

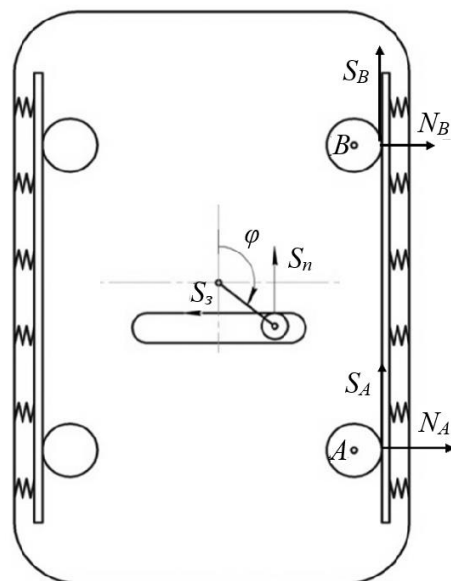


Рис. 3 – Схема конструкції столу, який унеможливує проковзування фіксуєчих коліс

Сила зчеплення, яка обертає фіксуєче колесо  $S_A$ :

$$S_A = \frac{I_\phi \ddot{\varphi}}{r_\phi} + \frac{N_A \delta}{r_\phi}, \quad (1)$$

де  $r_\phi$  – радіус фіксуєчого колеса;  $I_\phi = m_\phi r_\phi^2 / 2$  – осьовий момент інерції колеса під час кочення без ковзання;  $N_A$  – сили нормальної взаємодії;  $\delta$  – коефіцієнт тертя-кочення фіксуєчого колеса по контактній поверхні столу.

Нормальну роботу фіксуєчого колеса можна гарантувати у випадку, якщо сила зчеплення не буде перевищувати кулонового тертя, яке може виникати під час проковзування. Ця сила в точці  $A$  визначається за виразом:

$$F_T = f N_A. \quad (2)$$

Проковзування не відбудеться, якщо буде виконуватися нерівність:

$$fN_A > \frac{I\ddot{\varphi}}{r_\phi} + \frac{N_A\delta}{r_\phi}. \quad (3)$$

Тобто умова кочення без ковзання буде мати вигляд:

$$\left(f - \frac{\delta}{r_\phi}\right)N_A > \frac{I\ddot{\varphi}}{r_\phi} \quad (4)$$

або

$$N_A \geq \frac{I\ddot{\varphi}}{r_\phi f - \delta}. \quad (5)$$

Ураховуючи, що  $r_\phi\ddot{\varphi} = \ddot{x}$  та  $I = m_\phi r_\phi / 2$ , тоді нерівність (5) можна записати:

$$N_A \geq \frac{1}{2} \cdot \frac{m_\phi \ddot{x}}{f - \frac{\delta}{r_\phi}}. \quad (6)$$

Очевидно, що умова (6) виконується не завжди. Зокрема, умова не буде виконуватися на етапі взаємодії колеса і столу, якщо  $N_A = 0$ , тобто на етапі гальмування столу. Для забезпечення умови необхідно конструктивно надати початковий натяг  $N_0$ , притискуючи контактну поверхню столу до фіксуєчих коліс стисненими пружинами, як показано на **рис. 3**. Пружини вибираються з урахуванням рівності:

$$C\Delta = N_0, \quad (7)$$

де  $\Delta$  – деформація пружин;  $C$  – сумарний коефіцієнт жорсткості пружин.

Початковий натяг  $N_0$  визначається за рівнянням:

$$N_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_\phi r_\phi \ddot{x}_{\max}}{r_\phi f - \delta}, \quad (8)$$

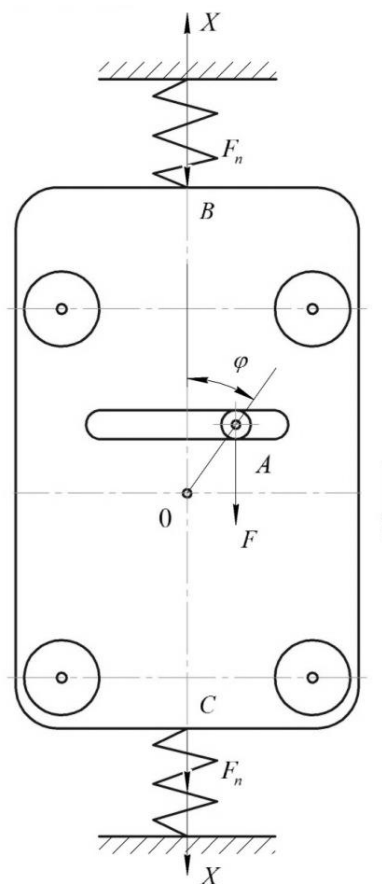
де  $\ddot{x}_{\max}$  – максимальне прискорення.

Початковий натяг буде забезпечувати безперервне притискання колеса до контактної поверхні столу, за якого проковзування колеса унеможливиться.

Як конструктивне рішення для зменшення сили взаємодії підшипника зі столом пропонується використання пружинних буферів, що встановлені в площині руху, як показано на **рис. 4**. Очевидно, що за відсутності кривошипа  $OA$  вібраційний стіл може здійснювати гармонічні коливання в напрямку осі  $OX$ . Встановимо вплив пружин в точках  $B$  та  $C$  на силу взаємодії підшипника з контактними поверхнями столу під час роботи машини. Припустимо, що фіксуєчі колеса забезпечують прямолінійний рух столу. Нехтуючи тертям-коченням колес, рівняння періодичного руху столу матиме вигляд:

$$m\ddot{x} = F + 2F_n, \quad (9)$$

де  $m$  – маса столу;  $F$  – сила, з якою підшипник тисне на стіл;  $F_n$  – сила пружності, яка за відомого коефіцієнта жорсткості двох пружин  $C$  визначається як  $2F_n = -cx$  або  $F_n = -cx/2$ .



**Рис. 4** – Схема сортувального столу зі встановленими пружинними буферами

У результаті перетворень рівняння (9) можна записати у вигляді:

$$\ddot{x} + k^2 x = \phi, \quad (10)$$

де  $k = (2C/m)^{0.5}$ ;  $\phi = F/m$ .

Припустимо, що привод забезпечує рух столу за рівнянням:

$$x = r \cos(\omega t), \quad (11)$$

де  $r$  – довжина (радіус) водила;  $\omega$  – частота обертання водила;  $t$  – час.

З рівняння (10) отримаємо:

$$F = mr[(k^2 - \omega^2) \cos(\omega t) - \varepsilon \sin(\omega t)]. \quad (12)$$

де  $\varepsilon$  – кутове прискорення.

Сила взаємодії водила та стола  $F$  за наявності буферів, для яких параметр  $k$  має значення менше за кутову швидкість  $\omega$ , зменшується за будь-якого  $k$ . Мінімальне значення сила  $F$  буде набувати у випадку, коли  $\omega = k$ .

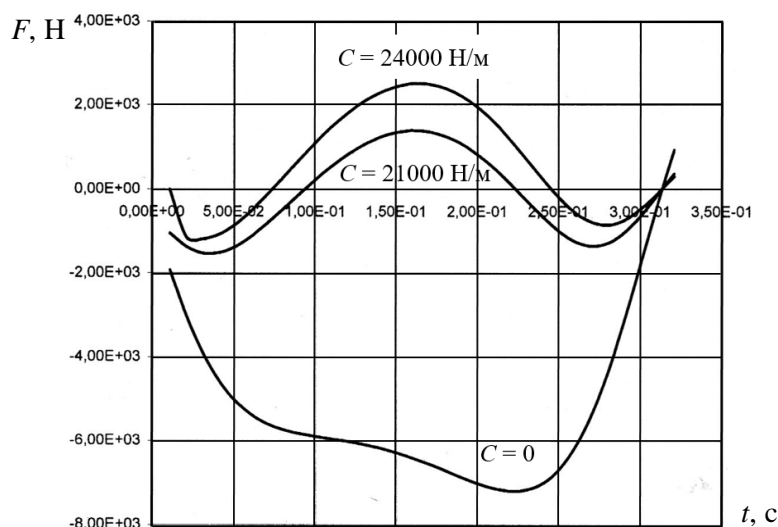
На **рис. 5** подані графіки зміни сили взаємодії водила і стола за один робочий цикл коливання столу для різних коефіцієнтів жорсткості буферів  $C$ . Під час побудови графіків необхідні розрахунки проводилися для машини МСХ-М, привод якої здійснюється двигуном АІР-100L6. Початкові дані для обчислень: маса стола  $m = 480$  кг; радіус водила  $r = 0,19$  м; кутова швидкість  $\omega$  та кутове прискорення  $\varepsilon$  визначалися за результатами інтегрування диференціального

рівняння руху стола. Аналіз зміни контактної тиску залежно від часу (**рис. 5**) показує, що тиск залежить від сумарного коефіцієнта жорсткості буферів. Варіюванням коефіцієнта  $C$  виявлено, що мінімальні сили взаємодії підшипника та стола виникають за значення коефіцієнта  $C = 21000$  Н/м, тобто коефіцієнт жорсткості кожного буфера має дорівнювати 10500 Н/м.

Отже, удосконалення конструкції падді-машини, яке можливе із урахуванням напрацьованих рекомендацій, спричиняє знане зменшення ( $\approx 3$  рази) контактних зусиль, що виникають у випадку взаємодії водила та стола, внаслідок чого зношення контактних поверхонь неминуче зменшується.

Під час експериментальних досліджень ставилося за мету – вивчення характеру зношування поверхні, якою рухаються фіксуючі колеса. Це було реалізовано шляхом моделювання зношування опорної поверхні рами за допомогою стиску пластин товщиною 0,1 мм, які були закріплені на рамній конструкції. З кожного боку рами, під кожним з чотирьох коліс, була можливість збільшувати зазор, що моделює зношування, до 1 мм.

Для налаштування установки на стабільний режим роботи опорні колеса та опорна рама, якою відбувалося переміщення робочого каналу, були відрегульовані. Коливання проводилися з встановленою частотою та амплітудою у визначеному режимі. Характер розподілу зерна під час сепарування та у зигзагоподібних стінках, а також за шириною каналу за вибраних параметрів був стабільним.



**Рис. 5** – Залежність величини тиску  $F$  підшипника на стіл від часу  $t$  та жорсткості  $C$  буфера

За зменшення зазору на опорних поверхнях кожного з чотирьох коліс на 0,1 мм режим роботи системи залишався стійким і характер переміщень робочого стола майже не змінювався. Збільшення зазору до 0,2 мм викликало нестійкість в роботі системи та за зворотно-поступальних рухів робочого столу з'явився додатковий шум, але ефективність сепарування зернової маси в робочому каналі не знижувалася. Зі збільшенням зазору до 0,3 мм спостерігалось зниження ефективності сепарування вівса та з'явилися додаткові коливання, які вказували на нерівномірну роботу робочого каналу стола. На **рис. 6** показано зношування та наклеп на опорних поверхнях фіксуючих та опорних коліс, що демонструє процес їх зношування.

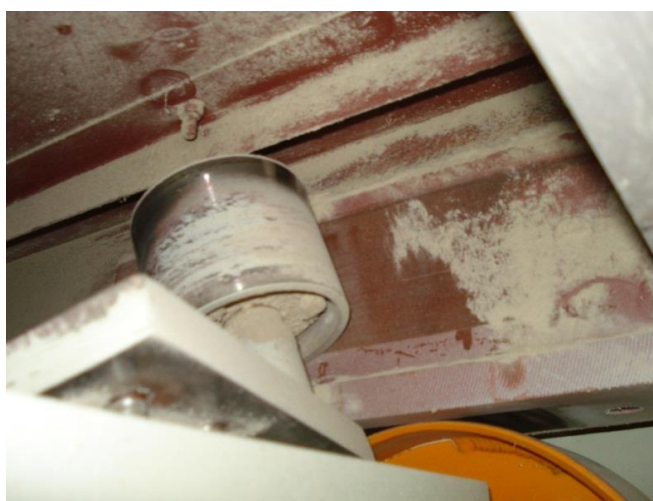
Зношування вказує на нерівномірне розподілення навантаження під час роботи. За

результатами експерименту встановлено, що зниження ефективності сепарування має місце у випадку зношування опорних поверхонь на величину 0,25 мм (**рис. 7**). За подальшого збільшенні зношення опорних поверхонь ефективність процесу сепарування значно погіршується.

Також становить серйозну проблему погіршення експлуатаційних характеристик установки, зокрема збільшення шуму, биття рами та робочого столу, проковзування коліс і, головне, – порушення рівномірного та ефективного перебігу процесу сепарування суміші вівса на лущені та нелущені зерна. Отже, можна зробити висновок, що зношування опорних поверхонь робочого стола не повинно перевищувати 0,25 мм, щоб зберегти оптимальну ефективність та стабільність процесу сепарування.

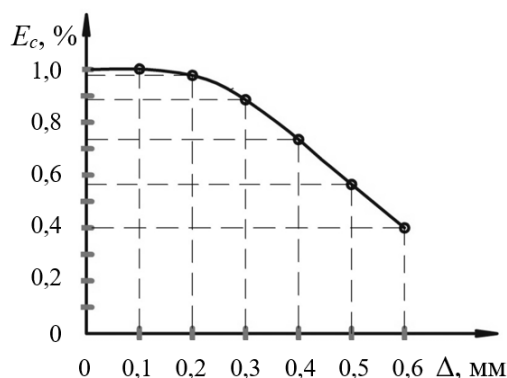


а



б

**Рис. 6** – Зовнішній вигляд ролика до (а) та після (б) експерименту



**Рис. 7** – Вплив ступеня  $\Delta$  зношування опорної поверхні на ефективність процесу сепарування зерна  $E_c$



## ВИСНОВКИ

Після дослідження схеми сил, які діють на різні складові падді-машини (сортувальний стіл, фіксуючі та несучі колеса, а також підшипник), були отримані диференціальні рівняння для плоско-паралельного руху робочої поверхні машини та для руху елементів падді-машини під час гальмування столу під час зворотно-поступального руху. Розроблено програму чисельного інтегрування рівняння руху стола, реалізація якої показала, що найбільші значення кутової швидкості виникають на початку розбігу стола та в кінці його гальмування, коли швидкість відповідає синхронній частоті обертання. Під час проведеного дослідження було встановлено, що зношування опорних поверхонь не може перевищувати 0,25 мм.

Також було встановлено, що упродовж 480 год роботи зношування склало 0,2 мм з кожного боку опорної рами, а за весь проміжок – 0,96 мм з кожного боку. Отже, загальне зношування обох боків становило 1,92 мм. На етапі перших 480 год робота стола була стійкою, однак за напрацювання 720 год почалися прояви биття, що негативно впливає на ефективність процесу сепарування.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Aliiev, E., Gavrilenko, A., Tesliuk, H., Tolstenko, A., & Koshul'ko, V. (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. *Acta Periodica Technologica, APTEFF*, 50, 12-22. <https://doi.org/10.2298/APT1950012A>
- Shevchenko, I., Aliiev, E., Viselga, G., & Kaminski, J. R. (2021). Modeling separation process for sunflower seed mixture on vibro-pneumatic separators. *Mechanika*, 27(4), 311-320. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647>
- Алієв, Е. Б. (2019). *Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику (Physico-mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material)*. Запоріжжя: СТАТУС.
- Возняк, О. М., Штуць, А. А., & Колісник, М. А. (2021). Дослідження параметрів лінійного асинхронного електроприводу віброцентробіжного сепаратора зерна (*Justification of parameters and development of a linear asynchronous electric drive of a vibrocenter grain separator*). *Вісник Хмельницького національного університету*, 5(301), 99-108. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2021-301-5-99-108>
- Козаченко, О. В., Алієв, Е. Б., Бакум, М. В., Михайлов, А. Д., & Крекот, М. М. (2021). Обґрунтування ефективності використання віброфрикційного сепаратора при підготовці насінневого матеріалу гірчиці (*Justification of the efficiency of using a vibrofriction separator in the preparation of mustard seed material*). *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*, 31, 142-151. <https://doi.org/10.36710/ioc-2021-31-13>
- Кошулько, В. С., Науменко, М. М., Чурсінов, Ю. О., & Міщенко, М. І. (2012). Патент України 70722. *Круповідокремлююча машина (падді-машина) (Grain-separating machine (paddy machine))*. Київ: ДП «Український інститут інтелектуальної власності».
- Кошулько, В. С., & Тимчак, Д. О. (2022). Наукове обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обладнання для сепарування продуктів лущення зерна вівса віброударним методом (*Scientific substantiation of the structural and technological parameters of the equipment for separating oat grain husking products using the vibro-impact method*). В: *Землеробська механіка. Інноваційні технології харчових виробництв*. Т. 4. Інноваційні технології харчових виробництв (с. 312-374.). Дніпро: Свідлер А. Л.
- Тищенко, Л. Н. (2004). *Інтенсифікація сепарування зерна (Intensification of grain separation)*. Харьков: Основа.
- Шевченко, І. А., & Алієв, Е. Б. (2021). Патент України 122809. *Адаптивний вібропневматичний сепаратор (Adaptive vibropneumatic separator)*. Київ: ДП «Український інститут інтелектуальної власності».
- Шевченко, І., Алієв, Е., & Камінський, Я. Р. (2019). Результати експериментальних досліджень процесу прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшника за об'ємною вагою (*Results of experimental studies of the process of precision separation of sunflower seed by volume weight*). *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*, 24(38), 252-259. [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-1-24\(38\)-26](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-1-24(38)-26)