

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-365-22>

УДК 621.924.7

КОШЕЛЬ ОЛЕКСАНДР

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0009-0006-3788-9298>

e-mail: koshel_aleksandr@ukr.net

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ МАРК

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0002-9183-2771>

e-mail: markzalubovskiy@gmail.com

КОШЕЛЬ СЕРГІЙ

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0001-7481-0186>

e-mail: sergey_koshel@ukr.net

КОШЕЛЬ ГАННА

Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну ім. М. Бойчука

<https://orcid.org/0000-0003-1862-1553>

e-mail: a_koshel@ukr.net

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РАДІУСА ЦИЛІНДРИЧНОЇ РОБОЧОЇ ЄМНОСТІ НА РЕЖИМ РУХУ МАСИВУ ДЕТАЛЕЙ У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ЄМНОСТІ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Виконано та математично оброблено результати експериментального дослідження взаємного впливу частот обертання двох ведучих валів розробленої галтувальної машини та радіуса технологічної ємності циліндричної форми на умови зміни режиму руху масиву деталей у робочій ємності. Для проведення експериментального дослідження розроблено план, реалізація якого дозволяє встановити взаємозалежності частот обертання приводних валів переносного та відносного рухів робочої ємності циліндричної форми, що має просторовий складний рух, та її радіуса на режими руху робочого масиву деталей. Виконано експериментальні дослідження для встановлення впливу змінних за діаметром технологічних ємностей розробленої галтувальної машини на умови утворення змішаного режиму руху масиву деталей у робочій ємності. Практично доведена спроможність машини розробленої конструкції працювати при умові встановлення на неї різних за діаметром технологічних ємностей циліндричної форми. Машина забезпечує необхідні для обробки режими руху технологічного масиву деталей в ємності при умові змінних за напрямком та величиною незалежних одна від іншої частот обертання двох її ведучих валів. Встановлено, що варіювання радіуса технологічної ємності циліндричної форми від меншої величини до більшої впливає на взаємозалежності між параметрами відносної та переносної частот обертання ведучих валів машини, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей з каскадного – водоспадний. Зміна радіуса ємності з меншої величини до більшої призводить до необхідності одночасного зменшення величин переносної та відносної частот обертання ведучих валів. Встановлені взаємозалежності між параметрами відносної та переносної частот обертання ведучих валів машини дозволяють їх варіювати так, щоб для обраної величини діаметра технологічної ємності циліндричної форми отримувати необхідні за інтенсивністю руху масиву деталей вздовж та відносно геометричної осі ємності з метою створення оптимальних умов для їх обробки.

Ключові слова: механізм, галтувальна машина, просторовий рух, обробка деталей, машина для обробки, експериментальне дослідження, математична модель, перевірка за критерієм Фішера.

KOSHEL OLEKSANDR, ZALYUBOVSKYI MARK, KOSHEL SERHIY

Kyiv National University of Technology and Design

KOSHEL HANNA

Kyiv State Academy of Decorative and Applied Arts and Design named after Mykhailo Boichuk

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF THE RADIUS OF A CYLINDRICAL WORKING CONTAINER ON THE MOTION REGIME OF THE WORKPIECE BULK IN THE PROCESSING CONTAINER OF A TUMBLING MACHINE

The results of an experimental study on the mutual influence of the rotational frequencies of two driving shafts of the developed tumbling machine and the radius of a cylindrical processing container on the conditions governing changes in the motion regime of the working bulk of parts in the working container were obtained and mathematically processed. An experimental research plan was developed to conduct the study. During its implementation, interdependencies were established between the rotational frequencies of the driving shafts responsible for the carrier and relative motions of the cylindrical working container, which performs complex spatial motion, and its radius, on the motion regimes of the working bulk of parts. Experimental investigations were carried out to determine the influence of processing containers of different diameters used in the developed tumbling machine on the conditions for the formation of a mixed motion regime of the working bulk of parts in the working container. The capability of the machine of the developed design to operate with cylindrical processing containers of different diameters installed was practically demonstrated. The machine ensures the motion regimes of the working bulk of parts required for processing in the container under conditions of independently varying rotational frequencies of its two driving shafts, differing in both magnitude and direction. It was established that varying the radius of the cylindrical processing container from a smaller to a larger value affects the interdependence between the parameters of the relative and carrier rotational frequencies of the machine driving shafts, at which a change in the motion regime of the working bulk from cascading to cascading–waterfall is observed. An increase in the container radius from a smaller to a larger value necessitates a simultaneous decrease in both the carrier and relative rotational frequencies of the driving shafts. The established interdependencies between the parameters of the relative and carrier rotational frequencies of the machine driving shafts make it possible to vary them in such a way that, for a selected diameter of the cylindrical processing container, motion of the working bulk with the required intensity along and relative to the geometric axis of the container can be achieved, thereby creating optimal conditions for their processing.

Keywords: mechanism, tumbling machine, spatial motion, parts processing, experimental study, mathematical modeling, Fisher's criterion



Постановка задачі

Режим руху робочого масиву деталей в машинах з робочими ємностями є важливим технологічним параметром для процесу обробки деталей, який в першу чергу впливає на якість деталей після їх обробки. Недостатня інтенсивність руху робочого масиву в ємності призведе до нераціонального використання робочого часу роботи обладнання, а наслідками роботи обладнання на режимах, що призводить до критичної, або надкритичної інтенсивності руху деталей в робочій ємності є пошкодження деталей різного характеру, або унеможливлення виконання технологічної операції.

Шліфування та полірування поверхонь деталей [1], очищення від загострених кромки та облою, відділення деталей, які отримано за допомогою технологічної операції лиття, від ливників [2] необхідно виконувати при умові забезпечення відповідних режимів руху масиву деталей у технологічній ємності галтувальної машини [3].

Для раціонального використання обладнання необхідно знати, як можна забезпечити той чи інший режим руху робочого масиву деталей в ємності. Задача набуває особливого значення, коли розмова іде про деталі та вироби, які використовуються в легкій промисловості: широкий асортимент деталей та виробів, що підлягають фінішній обробці, їх різноманітна форма та широкий різновид матеріалів, з яких вони виготовлені – все це необхідно ураховувати, щоб підібрати необхідні режими руху деталей в робочому контейнері та виконати якісну їх обробку.

Значна кількість деталей взуття виробляється з полімерних матеріалів, а їх фінішна обробка виконується на галтувальних машинах, технологічна ємність яких має просторовий складний рух, аналогічний тим рухам, який мають ємності, що використовуються в машинах для змішування сипких матеріалів в будівельній, харчовій, фармацевтичній та інших галузях виробництва [4].

Аналіз досліджень та публікацій

Можливість застосування машин з складним рухом робочого контейнера для обробки деталей з полімерних матеріалів розглянуто в роботі [5]. Отримано позитивні рекомендації про їх використання для проведення операції шліфування та полірування гудзиків, які виготовлені з полімерних матеріалів, а також для деталей з металевих сплавів.

В галтувальних машинах зі складним рухом технологічної ємності досягти зміни режимів руху робочого масиву можна при відносно незначних за модулем величинах кутових швидкостей головного валу [6], а тому зміна геометричних параметрів робочої ємності та розмірів ланок рухомої механічної системи машини впливатиме на процеси руху технологічного масиву деталей в ємності та потребує проведення додаткових експериментальних досліджень.

Виділення невирішених частин. Машина запропонованої конструкції [7, 8] спеціально розроблена для того, щоб обробляти широкий спектр деталей легкої промисловості. Машина має два ведучих вала [9], а тому є уніфікованою при обробці широкого асортименту деталей, для яких дозволяє варіювати і підбирати кінематичні параметри обертання валів машини щоб отримувати необхідні режими руху робочого масиву деталей в замкнутій ємності для їх якісної обробки. Встановлення залежностей між кутовими швидкостями двох ведучих валів машини з двома ступенями рухомості, або кутовою швидкістю головного валу машини з одним ведучим валом та режимами руху робочого середовища в ємності машини є актуальною задачею [10].

Формулювання цілі статті. Експериментально дослідити взаємопов'язану дію частот обертальних рухів вхідних валів та радіуса циліндричної технологічної ємності галтувальної машини розробленої конструкції на режими руху деталей у робочій ємності машини.

Виклад основного матеріалу

На 3D – виді машини розробленої конструкції (рис.1) бачимо, що складний просторовий рух робочої ємності 14 разом з робочим масивом деталей утворюється за рахунок складання двох рухів: відносного обертального руху робочої ємності циліндричної форми відносно своєї геометричної осі та переносного обертального руху ємності навколо спільної геометричної осі ведучих валів 3 та 5. Відносний рух

робочої ємності забезпечує перший ведучий вал 3, а переносний рух – другий ведучий вал 5. Ведучі вали кінематичними парами A_1 та A_7 приєднуються до вилки 10 та 12, які закріплено на робочій ємності 14 осями 11 та 13. Вал переносного руху 5 призводить до обертального руху кривошипу 8, що забезпечує рух кінематичної пари A_1 приєднання просторового кінематичного ланцюга по колу, радіус якого дорівнює довжині кривошипу 8, та забезпечує її переміщення в вертикальній площині з амплітудою, яка дорівнює двом лінійним розмірам кривошипу за один повний цикл обертання кривошипу.

При миттєвому розташуванні робочої ємності, що відповідає вертикальному верхньому положенню кривошипу 8, робочий масив деталей в ємності отримує повздовжній відносний осьовий рух в напрямку від кінематичної пари A_1 до A_7 , а для діаметрально протилежного положення кривошипу – в протилежному напрямку, від A_7 до A_1 . Циклічна зміна положення кривошипу 8 при обертанні другого ведучого валу 5 разом з радіальним рухом робочого масиву деталей, який задається робочою ємністю 14 при обертанні першого ведучого валу 3, призводять до просторового складного руху робочого масиву та появи того чи іншого (в залежності від інтенсивності обертання валів 3 та 5) режимів його руху.

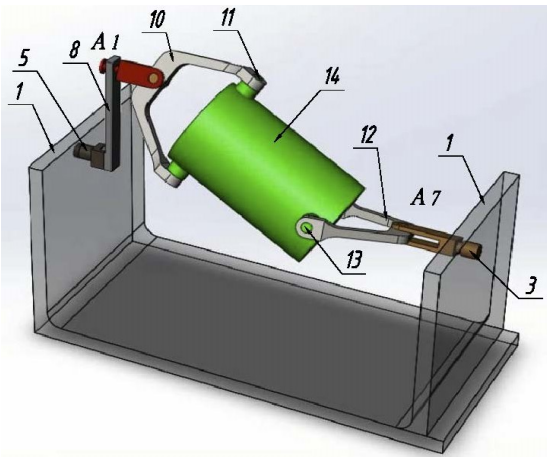


Рис.1. 3D – вид машини розробленої конструкції

Для варіювання радіуса циліндричної робочої ємності в гальувальній машині розробленої конструкції немає необхідності змінювати інші геометричні розміри обладнання, або робити додаткові його налагоджування: робочі ємності різного за величиною діаметра та однакової довжини легко адаптуються до конструкції машини.

Згідно з планом проведення досліджень (табл. 1) реалізовано варіанти 19 – 24 експерименту (для радіуса робочої ємності $r = 0,06$ м) з метою встановлення взаємозалежності між параметрами відносної n_{3r} , переносної n_{5e} частот обертання ведучих валів машини та радіусом робочої ємності, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей.

Результати проведеного дослідження наведено для трьох паралельних повторень ($n=3$) кожного окремого експерименту та визначено середнє значення $\bar{y} = \bar{n}_{3r}$ (табл. 2).

Кількість повторень на рівні фактора для всіх варіантів експериментальних досліджень перевірено за t -критерієм Стьюдента

Таблиця 1

План експериментальних досліджень впливу відносної n_{3r} та переносної n_{5e} частот обертання ведучих валів машини в залежності від радіуса робочої ємності циліндричної форми на режим руху робочого масиву деталей машини розробленої конструкції

Варіант	Значення факторів			Частота відносного обертання робочої ємності n_{3r} , об/хв	Примітка
	Частота переносного обертання робочої ємності n_{5e} , об/хв	Радіус робочої ємності циліндричної форми r , м	Радіус переносного руху точки робочого масиву $R(\alpha)$, м		
19	0	0,06	0,245	n_{3r}	Дослідження зміни режиму руху робочого масиву у ємності.
20	10	0,06	0,245	n_{3r}	
21	20	0,06	0,245	n_{3r}	
22	30	0,06	0,245	n_{3r}	
23	40	0,06	0,245	n_{3r}	
24	50	0,06	0,245	n_{3r}	
25	0	0,08	0,262	n_{3r}	Дослідження зміни режиму руху робочого масиву у ємності.
26	10	0,08	0,262	n_{3r}	
27	20	0,08	0,262	n_{3r}	
28	30	0,08	0,262	n_{3r}	
29	40	0,08	0,262	n_{3r}	
30	50	0,08	0,262	n_{3r}	
31	0	0,1	0,280	n_{3r}	Дослідження зміни режиму руху робочого масиву у ємності.
32	10	0,1	0,280	n_{3r}	
33	20	0,1	0,280	n_{3r}	
34	30	0,1	0,280	n_{3r}	
35	40	0,1	0,280	n_{3r}	
36	50	0,1	0,280	n_{3r}	

Таблиця 2

Експериментальне дослідження взаємозалежності між параметрами відносної n_{3r} , переносної n_{5e} частот обертання ведучих валів машини та радіусом робочої ємності, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей ($r=0,06$ м, $\alpha=30^\circ$, $R(\alpha)=0,245$ м)

Параметр \ Результат	$n_{5e} = 0$, об/хв	$n_{5e} = 10$, об/хв	$n_{5e} = 20$, об/хв	$n_{5e} = 30$, об/хв	$n_{5e} = 40$, об/хв	$n_{5e} = 50$, об/хв
n_{3r} , об/хв	128,0	119,25	104,0	84,00	63,5	35,75
\bar{y}	131,5	121,5	102,3	82,25	62,75	35,0
	127,5	119,25	99,7	85,75	62,75	35,75
	129,0	120,0	102,0	84,0	63,0	35,5

Результати експериментальних досліджень обробляємо згідно з відомою методикою [11–13]. Математичну модель взаємозалежності величин частот обертання ведучих валів відносного та переносного рухів було отримано за допомогою метода найменших квадратів:

$$\hat{y} = n_{3r} = -18,7 \cdot 10^{-3} \cdot n_{5e}^2 - 94,27 \cdot 10^{-2} \cdot n_{5e} + 129,59, \quad (1)$$

за рівнянням (1) побудовано графічну залежність (рис. 2).

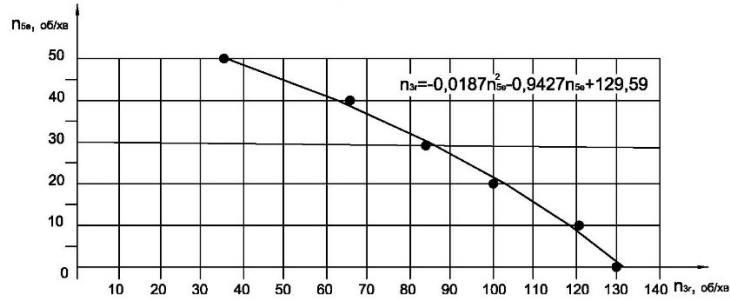


Рис. 2. Графік взаємозалежних частот обертання ведучих валів гальвальної машини розробленої конструкції для випадку утворення в робочій ємності каскадно – водоспадного режиму руху робочого масиву деталей ($r=0,06$ м)

Математичну модель з довірчою вірогідністю 0,95 перевіряємо на адекватність. Для радіуса робочої ємності $r=0,06$ м результати розрахунків за варіантами плану експерименту 19 – 24 представляємо у таблиці 3.

Порівняння розрахованих та табличних величин критерію Фішера. ($F_{розр} = 2,55 < F_{табл} = 3,49$) дозволяє стверджувати, що рівняння (1) є адекватними по відношенню до результатів отриманих експериментально з 95% вірогідністю.

Згідно з планом проведення досліджень (табл. 1) реалізовано варіанти 25 – 30 та 31 – 36 плану експерименту (для радіусів ємності $r=0,08$ м та $r=0,1$ м) з метою встановлення взаємозалежності між параметрами відносної n_{3r} , переносної n_{5e} частот обертання ведучих валів машини та радіусом робочої ємності, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей.

Таблиця 3

До встановлення взаємозалежності між параметрами відносної n_{3r} , переносної n_{5e} частот обертання ведучих валів машини та радіусом робочої ємності, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей ($r=0,06$ м, $\alpha = 30^\circ$, $R(r)=0,245$ м)

Рівняння: $\hat{y} = n_{3r} = -18,7 \cdot 10^{-3} \cdot n_{5e}^2 - 94,27 \cdot 10^{-2} \cdot n_{5e} + 129,59$

Варіант	n_{5e} , об/хв, x	n_{3r} , об/хв, \bar{y}	x^2	$x \cdot \bar{y}$	\hat{y}	$(\bar{y} - \hat{y})^2$
19	0	129,00	0	0	129,59	0,3481
20	10	120,00	100	1200,0	118,29	2,9138
21	20	102,00	400	2040,0	103,26	1,5775
22	30	84,00	900	2520,0	84,48	0,2294
23	40	63,00	1600	2520,0	61,90	1,0774
24	50	35,50	2500	1775,0	35,71	0,0420
Сума	150	533,50	5500	10055,0	533,29	6,1884
Дисперсія адекватності $S_{ад}^2 = 6,1884$						
Дисперсія відтворення $S_{(y)}^2 = 2,4275$						
Розрахована величина критерію Фішера $F_{розр} = 6,1884 / 2,4275 = 2,55$						
Таблична величина критерію Фішера (довірча вірогідність 0,95) – $F_{табл} = 3,49$						

Результати проведених досліджень наведено для трьох паралельних повторень кожного окремого експерименту, для яких визначено середнє значення $\bar{y} = \bar{n}_{3r}$ (табл. 4, табл. 5).

Таблиця 4

Експериментальне дослідження взаємозалежності між параметрами відносної n_{3r} , переносної n_{5e} частот обертання ведучих валів машини та радіусом робочої ємності, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей ($r=0,08$ м, $\alpha=30^\circ$, $R(\alpha)=0,262$ м)

Параметр \ Результат	$n_{5e} = 0$, об/хв	$n_{5e} = 10$, об/хв	$n_{5e} = 20$, об/хв	$n_{5e} = 30$, об/хв	$n_{5e} = 40$, об/хв	$n_{5e} = 50$, об/хв
n_{3r} , об/хв	114,0	100,0	85,5	69,0	49,0	24,75
\bar{y}	117,5	102,5	87,5	71,0	49,5	24,25
	115,0	99,0	85,0	68,5	48,5	24,5
	115,5	100,5	86,0	69,5	49,0	24,5

Таблиця 5

Експериментальне дослідження взаємозалежності між параметрами відносної n_{3r} , переносної n_{5e} частот обертання ведучих валів машини та радіусом робочої ємності, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей ($r=0,1$ м, $\alpha=30^\circ$, $R_{(a)}=0,280$ м)

Параметр \ Результат	$n_{5e} = 0$, об/хв	$n_{5e} = 10$, об/хв	$n_{5e} = 20$, об/хв	$n_{5e} = 30$, об/хв	$n_{5e} = 40$, об/хв	$n_{5e} = 50$, об/хв
n_{3r} , об/хв	103,5	89,0	73,0	57,75	40,25	17,25
\bar{y}	101,25	91,0	75,25	56,75	39,25	17,0
	102,75	88,5	73,75	58,0	40,5	16,75
	102,5	89,5	74,0	57,5	40,0	17,0

Математичні моделі взаємозалежностей величин частот обертання ведучих валів відносного та переносного рухів були отримано за допомогою метода найменших квадратів для радіусів робочих ємностей, відповідно, $r=0,08$ м та $r=0,1$ м:

$$\hat{y} = n_{3r} = -12,8 \cdot 10^{-3} \cdot n_{5e}^2 - 115,02 \cdot 10^{-2} \cdot n_{5e} + 114,63, \tag{2}$$

$$\hat{y} = n_{3r} = -10,4 \cdot 10^{-3} \cdot n_{5e}^2 - 117,5 \cdot 10^{-2} \cdot n_{5e} + 102,29. \tag{3}$$

За рівняннями (2, 3) побудовано графічні залежності на рисунках 3 та 4.

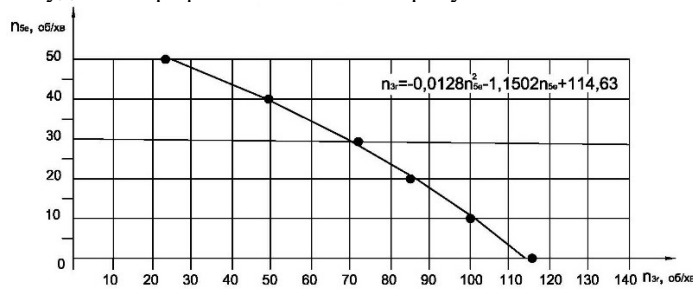


Рис. 3. Графік взаємозалежних частот обертання ведучих валів галтувальної машини розробленої конструкції для випадку утворення в робочій ємності каскадно – водоспадного режиму руху робочого масиву деталей ($r=0,08$ м)

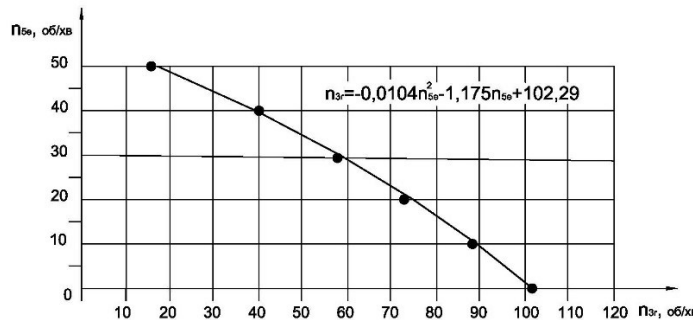


Рис. 4. Графік взаємозалежних частот обертання ведучих валів галтувальної машини розробленої конструкції для випадку утворення в робочій ємності каскадно – водоспадного режиму руху робочого масиву деталей ($r=0,1$ м)

Математичні моделі (2) та (3) з довірчою вірогідністю 0,95 перевіряємо на адекватність. Для радіусів робочої ємності $r = 0,08$ м та $r = 0,1$ м результати розрахунків за варіантами плану експерименту 25 – 30 та 31 – 36 представляємо у таблицях 6 та 7.

Таблиця 6

До встановлення взаємозалежності між параметрами відносної n_{3r} , переносної n_{5e} частот обертання ведучих валів машини та радіусом робочої ємності, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей ($r=0,08$ м, $\alpha = 30^\circ$, $R_{(r)}=0,245$ м) Рівняння: $\hat{y} = n_{3r} = -12,8 \cdot 10^{-3} \cdot n_{5e}^2 - 115,02 \cdot 10^{-2} \cdot n_{5e} + 114,63$

Варіант	n_{5e} , об/хв, x	n_{3r} , об/хв, \bar{y}	x^2	$x \cdot \bar{y}$	\hat{y}	$(\bar{y} - \hat{y})^2$
25	0	115,50	0	0	114,63	0,7569
26	10	100,50	100	1005,0	101,85	1,8171
27	20	86,00	400	1720,0	86,51	0,256
28	30	69,50	900	2085,0	68,61	0,8028
29	40	49,00	1600	1960,0	48,14	0,7362
30	50	24,50	2500	1225,0	25,12	0,3844
Сума	150	445,00	5500	7995,0	444,85	4,7534
Дисперсія адекватності $S_{ad}^2 = 4,7534$						
Дисперсія відтворення $S_{\{y\}}^2 = 1,7188$						
Розрахована величина критерію Фішера $F_{розр} = 4,7534/1,7188 = 2,77$						
Таблична величина критерію Фішера (довірча вірогідність 0,95) – $F_{табл} = 3,49$						

До встановлення взаємозалежності між параметрами відносної n_{3r} , переносної n_{5c} частот обертання ведучих валів машини та радіусом робочої ємності, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей ($r=0,1$ м, $\alpha = 30^\circ$, $R(r)=0,245$ м)

$$\text{Рівняння: } \hat{y} = n_{3r} = -10,4 \cdot 10^{-3} \cdot n_{5c}^2 - 117,5 \cdot 10^{-2} \cdot n_{5c} + 102,29$$

Варіант	n_{5c} , об/хв, x	n_{3r} , об/хв, \bar{y}	x^2	$x \cdot \bar{y}$	\hat{y}	$(\bar{y} - \hat{y})^2$
31	0	102,5	0	0	102,29	0,0441
32	10	89,5	100	895,0	89,5	0
33	20	74,0	400	1480,0	74,63	0,3969
34	30	57,5	900	1725,0	57,68	0,0324
35	40	40,0	1600	1600,0	38,65	1,8225
36	50	17,0	2500	850,0	17,54	0,2916
Сума	150	380,5	5500	6550,0	380,29	2,5875
Дисперсія адекватності $S_{ad}^2=2,5875$						
Дисперсія відтворення $S_{(y)}^2=0,8854$						
Розрахована величина критерію Фішера $F_{розр}=2,5875/0,8854=2,92$						
Таблична величина критерію Фішера (довірча вірогідність 0,95) – $F_{табл}=3,49$						

Порівняння розрахованих та табличних величин критерію Фішера. (для $r=0,08$ м – $F_{розр}=2,77 < F_{табл}=3,49$; та для $r=0,1$ м – $F_{розр}=2,92 < F_{табл}=3,49$) дозволяє стверджувати, що рівняння (2) та (3) є адекватними по відношенню до результатів отриманих експериментально з 95% вірогідністю.

З аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень зазначаємо, що варіювання радіуса ємності від $r=0,06$ м до $r=0,1$ м впливає на взаємозалежності між параметрами відносної n_{3r} та переносної n_{5c} частот обертання ведучих валів машини, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей з каскадного на каскадно – водоспадний (змішаний режим руху). Збільшення радіуса ємності від $r=0,06$ м до $r=0,1$ м призводить до необхідності одночасного зменшення величин переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання ведучих валів.

Для забезпечення каскадно – водоспадного режиму руху деталей в ємності при умові, що ведучий вал, який відповідає за переносний рух робочого масиву є зупиненим ($n_{5c}=0$ об/хв), зміна радіуса ємності від $r=0,06$ м до $r=0,1$ м призводить до необхідності зменшення на 22,7% частоти обертання ведучого вала, який відповідає за відносний рух ємності. Якщо ведучий вал, який відповідає за відносний рух ємності зупинений ($n_{3r}=0$ об/хв), то необхідно зменшити на 6,5 % частоту обертання вала, який відповідає за переносний рух ємності. Результати надаються в порівнянні до аналогічних параметрів при умові радіуса ємності $r=0,06$ м.

Висновки

Виконано експериментальне дослідження взаємного впливу частот обертання двох ведучих валів розробленої галтувальної машини та радіуса технологічної ємності циліндричної форми на умови зміни режиму руху масиву деталей у робочій ємності.

Встановлено, що варіювання радіуса технологічної ємності циліндричної форми від меншої величини до більшої впливає на взаємозалежності між параметрами відносної та переносної частот обертання ведучих валів машини, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей з каскадного на каскадно – водоспадний. Збільшення радіуса ємності з меншої величини до більшої призводить до необхідності одночасного зменшення величин переносної та відносної частот обертання ведучих валів.

Встановлені взаємозалежності між параметрами відносної та переносної частот обертання ведучих валів машини дозволяють їх варіювати так, щоб для обраної величини радіуса технологічної ємності циліндричної форми отримувати необхідні за інтенсивністю руху масиву деталей вздовж та відносно геометричної осі ємності з метою створення оптимальних умов для їх обробки.

Література

1. Яковенко І.Е. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 421с.
2. Залюбовський М. Г. Машини та обладнання підприємств: навч. посібник / М. Г. Залюбовський, В. В. Малишев. – К.: Університет «Україна», 2020. – 120 с.
3. Сокур М.І. Модель руху матеріалу в проточній частині барабанного млина / М.І. Сокур, В.С. Білецький, Д.П. Божик, І.М. Сокур // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. збірник – 2017. – Вип. 66 (107). – С. 28-35.
4. Jadhav P.S. A study on mixing of composite solids in the three dimensional turbula mixer / P.S. Jadhav, B.R. Jadhav // International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, 2013, Vol. 2, Issue 3, P. 138-141.

5. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, O.O. Kuznetsova, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019, Vol. 3 (134). – P. 9 – 17.
6. Панасюк І.В. Експериментальне дослідження руху частинки сипкого середовища у робочій ємкості, що здійснює складний рух / І.В.Панасюк, М.Г.Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2014. – №6. – С. 35-42.
7. Пат, №155458 Україна, МПК (2024.01): B01F 31/00, B24V 31/00 2024 р.) Машина для обробки деталей / Кошель С.О., Кошель Г.В., Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Кошель О.С., заявник та патентовласник Вищий навчальний заклад «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна» – u202304573; заяв. 27.09.2023, опуб. 28.02.2024, Бюл. № 9/2024.
8. Пат, №160455 Україна, МПК (2025.01): B01F 31/00, B24V 21/00 2025 р.) Машина для обробки деталей / Кошель С.О., Кошель О.С., Панасюк І.В., Залюбовський М.Г., Кошель Г.В., заявник та патентовласник Вищий навчальний заклад «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна» – u202500085; заяв. 07.01.2025, опуб. 10.09.2025, Бюл. № 37/2025.
9. Пат, №160695 Україна, МПК (2025.01): B24V 31/00, B01F 31/00 2025 р.) Машина для обробки деталей / Кошель С.О., Кошель О.С., Панасюк І.В., Залюбовський М.Г., Кошель Г.В., заявник та патентовласник Вищий навчальний заклад «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна» – u202500084; заяв. 07.01.2025, опуб. 01.10.2025, Бюл. № 40/2025.
10. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – P. 260-264.
11. Григор'єв Ю. В. Основи статистичної обробки результатів експериментів з використанням Excel та R: навч. посіб. / Ю. В. Григор'єв, Д. О. Ісаєв. – К.: КНЕУ, 2020. – 176 с.
12. Левенець І. Б. Математична обробка експериментальних даних у середовищі MATLAB: навч. посіб. / І. Б. Левенець. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2017. – 133 с.
13. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments / D. C. Montgomery. – 9th ed. – Hoboken, NJ: Wiley, 2017. – 752 p.

References

1. Yakovenko I.E. Tekhnolohichni osnovy mashynobuduvannia: navchalnyi posibnyk / I. E. Yakovenko, O. A. Permiakov, A.V. Fesenko – Kharkiv: NTU «KhPI», 2022. – 421s.
2. Zaliubovskiy M.H. Mashyny ta obladnannia pidpriemstv: navch. Posibnyk / M.H. Zaliubovskiy, V.V. Malyshev. – K.: Universytet «Ukraina», 2020. – 120 s.
3. Sokur M.I. Model rukhu materialu v protochnii chastyni barabannoho mlyna / M.I. Sokur, V.S. Biletskyi, D.P. Bozhyk, I.M. Sokur // Zbahachennia korysnykh kopalyn: Nauk.-tekhn. zbirnyk – 2017. – Vyp. 66 (107). – S. 28-35.
4. Jadhav P.S. A study on mixing of composite solids in the three dimensional turbula mixer / P.S. Jadhav, B.R. Jadhav // International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, 2013, Vol. 2, Issue 3, P. 138-141.
5. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, O.O. Kuznetsova, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019, Vol. 3 (134). – P. 9 – 17.
6. Panasiuk I.V. Eksperymentalne doslidzhennia rukhu chastynky sykoho seredovyscha u robochii yemkosti, shcho zdiisniuie skladnyi rukh / I.V.Panasiuk, M.H.Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2014. – №6. – S. 35-42.
7. Пат, №155458 Україна, МПК (2024.01): V01F 31/00, V24V 31/00 2024 r.) Mashyna dlia obrobky detalei / Koshel S.O., Koshel H.V., Zaliubovskiy M.H., Panasiuk I.V., Koshel O.S., zaiavnyk ta patentovlasnyk Vyshchyi navchalnyi zaklad «Vidkrytyi mizhnarodnyi universytet rozvytku liudyny «Ukraina» – u202304573; zaiav. 27.09.2023, opub. 28.02.2024, Biul. № 9/2024.
8. Пат, №160455 Україна, МПК (2025.01): V01F 31/00, V24V 21/00 2025 r.) Mashyna dlia obrobky detalei / Koshel S.O., Koshel O.S., Panasiuk I.V., Zaliubovskiy M.H., Koshel H.V., zaiavnyk ta patentovlasnyk Vyshchyi navchalnyi zaklad «Vidkrytyi mizhnarodnyi universytet rozvytku liudyny «Ukraina» – u202500085; zaiav. 07.01.2025, opub. 10.09.2025, Biul. № 37/2025.
9. Пат, №160695 Україна, МПК (2025.01): V24V 31/00, V01F 31/00 2025 r.) Mashyna dlia obrobky detalei / Koshel S.O., Koshel O.S., Panasiuk I.V., Zaliubovskiy M.H., Koshel H.V., zaiavnyk ta patentovlasnyk Vyshchyi navchalnyi zaklad «Vidkrytyi mizhnarodnyi universytet rozvytku liudyny «Ukraina» – u202500084; zaiav. 07.01.2025, opub. 01.10.2025, Biul. № 40/2025.
10. Panasyuk I. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / I. Panasyuk, M. Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – P. 260-264.
11. Hryhoriev Yu. V. Osnovy statystychnoi obrobky rezul'tativ eksperymentiv z vykorystanniam Excel ta R: navch. posib. / Yu. V. Hryhoriev, D. O. Isaiev. – K.: KNEU, 2020. – 176 с.
12. Levenets I. B. Matematychna obrobka eksperymentalnykh danykh u seredovyschi MATLAB: navch. posib. / I. B. Levenets. – Lviv: Vydavnytstvo LNU, 2017. – 133 с.
13. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments / D. C. Montgomery. – 9th ed. – Hoboken, NJ: Wiley, 2017. – 752 p.