

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ МАРК

Київський національний університет технологій та дизайну, Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»  
ORCID ID: [0000-0001-6258-0088](https://orcid.org/0000-0001-6258-0088)  
e-mail: [markzalubovskiy@gmail.com](mailto:markzalubovskiy@gmail.com)

ПАНАСЮК ІГОР

Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID ID: [0000-0001-6671-4266](https://orcid.org/0000-0001-6671-4266)  
e-mail: [panasyuk1961@gmail.com](mailto:panasyuk1961@gmail.com)

БЛАЖЕНКО МАРІЯ

Національний університет харчових технологій, відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»  
ORCID ID: [0000-0002-0984-8660](https://orcid.org/0000-0002-0984-8660)  
e-mail: [blagmary@ukr.net](mailto:blagmary@ukr.net)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ НА РЕАЛІЗАЦІЮ РЕЖИМІВ РУХУ МАСИВУ В СЕРЕДИНІ РОБОЧОЇ ЄМКОСТІ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ

Зазначається, що переміщення робочого масиву в галтувальних ємкостях з різним характером руху може здійснюватися при каскадному, водоспадному, а також змішаному режимах руху. Представлено характеристику даних режимів руху робочого масиву, які можуть бути реалізовані у робочій ємкості, яка виконує складний просторовий рух галтувальної машини. Кожен режим руху робочого масиву є найбільш сприятливим для відповідних фінішних галтувальних технологічних операцій. Із використанням системи автоматизованого проектування «SolidWorks» проведені аналітичні дослідження впливу конструктивних особливостей галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою коромислом з горизонтальною віссю обертання на реалізацію режимів руху масиву всередині робочої ємкості зі складним просторовим рухом. Встановлено, що реалізація режимів руху робочого масиву в середині ємкості галтувальної машини залежить від куткової швидкості обертання ведучого валу, масштабного коефіцієнту машини та коефіцієнту, який характеризує відношення відстані між осями робочої ємкості до відстані між осями вилки машини. Отримані математичні вирази для визначення граничної куткової швидкості ведучого валу галтувальної машини типу з додатковою рухомою ланкою коромислом з горизонтальною віссю обертання, що відповідатиме реалізації необхідного режиму руху робочого масиву, при його русі у даній ємкості. Отримані результати досліджень можуть бути використані на стадії проектування відповідного галтувального обладнання.

**Ключові слова:** галтувальна машина, робочий масив, кутова швидкість.

ZALYUBOVSKIY MARK

Kyiv National University of Technology and Design, Open International University of Human Development "Ukraine"

PANASYUK IGOR

Kyiv National University of Technology and Design

BLAZHENKO MARIIA

National University of Food Technologies, Open International University of Human Development "Ukraine"

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE DESIGN FEATURES OF THE TURNING MACHINE ON THE IMPLEMENTATION OF THE MOVEMENT MODES OF THE ARRAY IN THE MIDDLE OF THE WORKING CAPACITY WITH COMPLEX SPATIAL MOVEMENT

It is noted that the movement of the working array in the filling tanks with different types of movement can be carried out in cascade, waterfall, and mixed modes of movement. The characteristics of these modes of movement of the working array, which can be implemented in the working capacity that performs complex spatial movement of the rolling machine, are presented. Each mode of movement of the working array is the most favorable for the corresponding finishing felting technological operations. With the use of the automated design system "SolidWorks", analytical studies of the influence of the design features of the rolling machine with an additional movable rocker link with a horizontal axis of rotation on the implementation of the mass movement modes in the middle of the working capacity with complex spatial movement were carried out. It was established that the implementation of the modes of movement of the working mass in the middle of the capacity of the rolling machine depends on the angular speed of rotation of the drive shaft, the scale coefficient of the machine and the coefficient that characterizes the ratio of the distance between the axes of the working capacity to the distance between the axes of the fork of the machine. Mathematical expressions for determining the maximum angular speed of the drive shaft of the rolling machine type with an additional movable rocker link with a horizontal axis of rotation, which will correspond to the implementation of the necessary mode of movement of the working array, when it moves in a given capacity, are obtained. The obtained research results can be used at the stage of designing the appropriate felting equipment.

**Key words:** rolling machine, working array, angular velocity.

**Постановка задачі.** Робочий масив у середині галтувальних ємкостей з різним характером руху може переміщатися при різних режимах – каскадному, водоспадному або змішаному. Наприклад, для галтувальної технологічної операції відділення деталей від ливників [1] – найбільш раціонально використовувати водоспадний режим руху, при покращенні якості поверхні виробів (шліфування чи полірування) [2] – змішаний режим руху тощо.

Для кожного типу галтувального обладнання (обертів барабани [3], планетарні барабани [4], машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [5, 6] тощо) властиві відповідні відмінні

математичні залежності для можливості розрахунку умов, при яких буде реалізувати відповідний режим руху робочого масиву. Аналогічна ситуація і з обладнанням з відмінними конструктивними особливостями, де робочі ємкості виконують складний просторовий рух. Конструктивні особливості кожного типу такого обладнання унеможливають застосування уніфікованих математичних підходів, які описуються залежність між зміною режимів руху робочого масиву, конструктивними особливостями та кутовою швидкістю ведучого валу відповідної галтувальної машини.

**Аналіз досліджень та публікацій.** У роботах [7, 8] надається загальний опис усіх режимів руху робочого масиву. У [8] зазначається, що у обладнанні зі складним просторовим рухом робочих ємкостей реалізація зазначених вище режимів руху робочого масиву має особливий характер. Зокрема, будь-який режим руху має циклічний характер внаслідок із почерговим зіткнення робочого масиву із торцями ємкості та подальшою зміною напрямку його переміщення.

У роботі [9] проведені дослідження «базової» конструкції галтувальної машини типу «Turbula» внаслідок яких встановлено взаємозв'язок між кутовою швидкістю ведучого валу, габаритними параметрами ємкості та зміною режимів руху, у [10] – дослідженої конструкції галтувальної машини з робочою ємкістю, яка виконує складний просторовий рух та містить у своєму кінематичному ланцюзі додаткову рухому ланку повзун, у [11] – дослідженої конструкції галтувальної машини з робочою ємкістю, яка виконує складний просторовий рух та містить у своєму кінематичному ланцюзі додаткову рухому ланку коромисло з вертикальною віссю обертання.

**Виділення невирішених частин.** Попередньо отримані математичні залежності для розрахунку необхідної кутової швидкості ведучого валу, що відповідає реалізації необхідного режиму руху робочого масиву, отримані лише для окремих конструкцій галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. У той самий час, залишаються типи галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей, для яких, до тепер, не проводилися дослідження та не було отримано відповідні математичні залежності.

**Формулювання цілей.** Суть даної роботи полягає у аналітичному дослідженні, з точки зору визначення залежності між зміною режимів руху робочого масиву та конструктивними особливостями, галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, у кінематичному ланцюзі якої застосовується додаткова рухома ланка коромисло з горизонтальною віссю обертання.

**Виклад основного матеріалу.** У робочій ємкості зі складним просторовим рухом можуть бути реалізовані наступні режими руху робочого масиву: каскадний, при якому частинки робочого масиву, здебільшого, не відділялися одна від одної, а перекочувалися та проковзували по поверхні ємкості та одна відносно іншої. Фрагменти переміщення робочого масиву при реалізації каскадного режиму руху представлено на рис. 1.

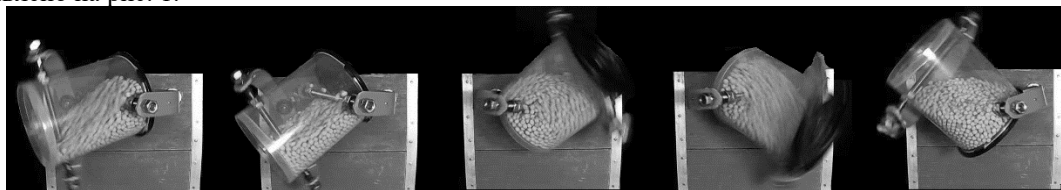


Рис. 1. Каскадний режим руху робочого масиву

При водоспадному режимі руху практично весь робочий масив перебуває у стані вільного польоту. Фрагменти переміщення робочого масиву при реалізації водоспадного режиму руху представлено на рис. 2.

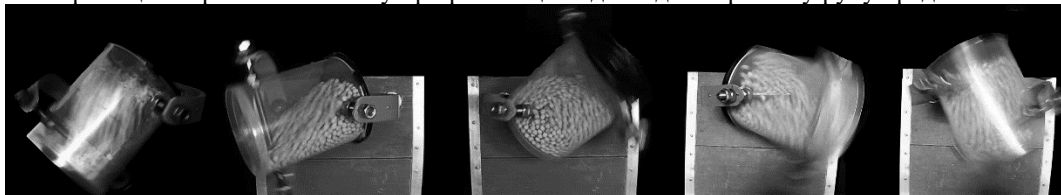


Рис. 2. Водоспадний режим руху робочого масиву

При змішаному режимі руху одночасно проявляються два режими руху технологічного середовища – каскадний та водоспадний. Переміщуючись до одного ємкості ємкості практично весь робочий масив перебуває у стані вільного польоту, однак, при переміщенні у зворотному напрямі робочий масив рухається без відриву від стінок ємкості.

Попередньо, у роботі [12] було синтезовано семиланковий кінематичний ланцюг галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, що містить у своєму кінематичному ланцюзі додаткову рухому ланку коромисло з горизонтальною віссю обертання. Таким чином, було досягнути виключення впливу пасивного зв'язку із просторового механізму. Модель розробленої галтувальної машини на рис. 3. а, кінематична схема синтезованого семиланкового механізму – на рис. 3. б відповідно.

Просторовий механізм машини складається зі станини 1, ведучого 2 та веденого 3 валів. Ведучий вал 2 встановлений у підшипниковій опорі станини 1, ведений вал 3 кінематично з'єднаний з коромислом 4, яке рухомо встановлено в станині 1 та виконує коливальний рух у вертикальній площині відносно горизонтальної вісі. Ведучий 2 та ведений 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучим шатуном 5

та веденим шатуном 6 відповідно, діаметрально взаємо перпендикулярні вісі яких 7 і 8 є вісями кріплення проміжного шатуна 9. Проміжним шатуном 9 являється робоча ємкість машини. *A, B, C, D, E, F, G* – обертальні кінематичні пари.

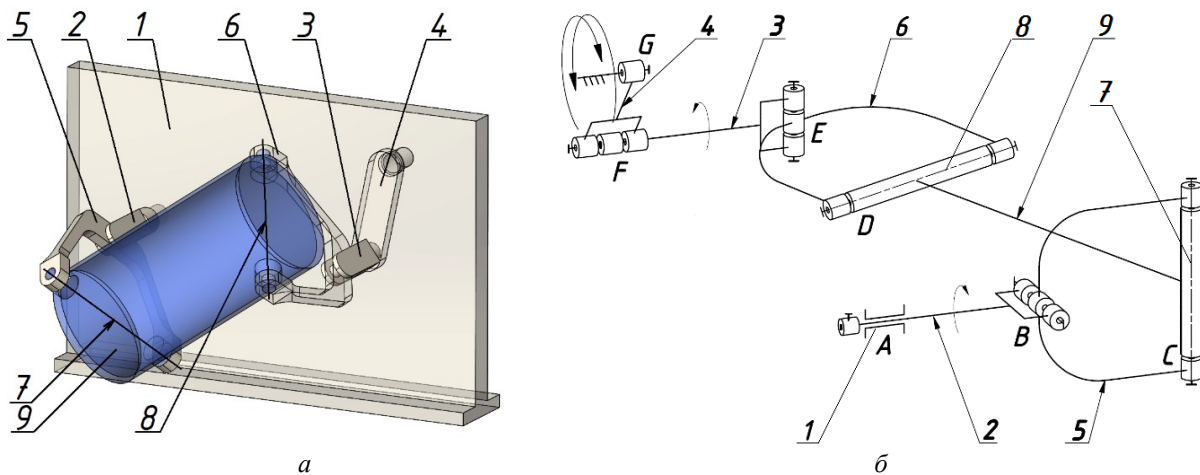


Рис. 3. Гальтувальна машина зі складним просторовим рухом робочої ємкості, що містить у своєму кінематичному ланцюзі додаткову рухому ланку коромисло з горизонтальною віссю обертання:  
а – модель машини, б – кінематична схема

Дослідженнями, які були виконані у [13] було визначено аналітичні передумови реалізації режимів руху робочого масиву в середині ємкості зі складним просторовим рухом. Доведено, що характер переміщення робочого масиву в ємкості залежить від таких головних параметрів: кутової швидкості ведучого валу  $\omega_{ведуч}$ , та максимальних значень повних прискорень,  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  точок *A* та *B*, які співпадають з центрами основ ємкості, а також масштабного коефіцієнту конструкції машини *n*. Таким чином, у роботах [12, 13] були отримані нерівності, що визначають умови переходу від каскадного до водоспадного режиму руху робочого масиву:

$$g > a; \tag{1}$$

$$a > g, \tag{2}$$

де *g* – прискорення вільного падіння; *a* – максимальні значення повного прискорення торця ємкості.

У [12, 13] було встановлено, що перехід від каскадного до водоспадного режиму буде відбуватися у той час, коли максимальне прискорення відповідного торця ємкості, стане перевищувати прискорення *g*. Максимальні значення прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  торців ємкості ще будуть залежати від значення коефіцієнту  $\lambda$ , який характеризує відношення міжосьової довжини робочої ємкості  $l_{PC}$  до міжосьової довжини ведучої чи веденої вилок  $l_B$ :

$$\lambda = l_{PC} / l_B \tag{3}$$

Аналітичні дослідження виконували з урахуванням усіх трьох параметрів – кутової швидкості ведучого валу  $\omega_{ведуч}$ , масштабного коефіцієнту *n* (для  $n=1; 1,5; 2; 3,5; 4$ ) та коефіцієнту  $\lambda$ . Дослідження виконували із застосуванням САПР SolidWorks. За «базовий типорозмір» (масштабний коефіцієнт  $n=1, \lambda=1,0$ ) було прийнято машину з наступними геометричними параметрами: відстань між осями кріплення вилок та міжосьова відстань робочої ємності – 0,077 м, діаметр ємності – 0,095 м.

У таблицях 1 – 4 представлено максимальні значення повних прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  для 5-и типорозмірів гальтувальної машини при різних значеннях кутових швидкостей ведучого валу з урахуванням зміни коефіцієнту  $\lambda$ . Отримані максимальні значення повних прискорень торців ємкості було апроксимовано у вигляді графічних залежностей квадратичної функції. На рис. 4 – рис. 7 представлено відповідні графічні залежності.

Після аналізу отриманих даних, які представлені у таблицях та на рис. 4 – рис. 7 встановлено, що приріст прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості ведучого валу  $\omega_{ведуч}$  машини відбувається за квадратичною функцією. Прискорення  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  залежать від зміни коефіцієнту  $\lambda$ . У конструкції машини при коефіцієнту  $\lambda=1,4$  різниця між максимальними значеннями прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  протилежних торців ємкості буде найменшою, однак, зі збільшенням коефіцієнту  $\lambda$  буде спостерігатися приріст цієї різниці. Також було отримані загальні математичні вирази для визначення максимальних прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  в залежності від зміни масштабного коефіцієнту *n* та коефіцієнту  $\lambda$  для конструкції гальтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, що містить у своєму кінематичному ланцюзі додаткову рухому ланку коромисло з горизонтальною віссю обертання:

$$a_{maxA} = 0,25n\omega_{ведучA}^2 (\lambda - 0,4)^{1,4}; \tag{4}$$

$$a_{maxB} = 0,33n\omega_{ведучB}^2 (\lambda - 0,4)^2. \tag{5}$$

Таблиця 1

$\omega_{\text{введуч}} [\text{рад/с}]$	Масштабний коефіцієнт $n$									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{\text{maxA}(1)}$	$a_{\text{maxB}(1)}$	$a_{\text{maxA}(1,5)}$	$a_{\text{maxB}(1,5)}$	$a_{\text{maxA}(2)}$	$a_{\text{maxB}(2)}$	$a_{\text{maxA}(3,5)}$	$a_{\text{maxB}(3,5)}$	$a_{\text{maxA}(4)}$	$a_{\text{maxB}(4)}$
	Максимальні значення прискорень $[\text{м/с}^2]$									
1,1	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	1	1,4	1,2	1,6
2,1	1,16	1,6	1,7	2,5	2,3	3,3	4,1	5,9	4,7	6,7
3,2	2,6	3,7	3,9	5,5	5,2	7,4	9,3	13,4	10,8	15,7
4,2	4,6	6,5	6,9	9,8	9,2	13,1	16,8	24,5	19,5	28,8
5,3	7,2	10,1	10,8	15,2	14,5	20,4	26,6	39	30,8	48,9
6,3	10,4	14,6	15,7	22	20,9	29,6	38,9	57	45,4	72,6
7,4	14,2	19,8	21,3	30	28,5	40,4	53,5	78,7	62,5	102

Таблиця 2

$\omega_{\text{введуч}} [\text{рад/с}]$	Масштабний коефіцієнт $n$									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{\text{maxA}(1)}$	$a_{\text{maxB}(1)}$	$a_{\text{maxA}(1,5)}$	$a_{\text{maxB}(1,5)}$	$a_{\text{maxA}(2)}$	$a_{\text{maxB}(2)}$	$a_{\text{maxA}(3,5)}$	$a_{\text{maxB}(3,5)}$	$a_{\text{maxA}(4)}$	$a_{\text{maxB}(4)}$
	Максимальні значення прискорень $[\text{м/с}^2]$									
1,1	0,4	0,5	0,5	0,8	0,7	1	1,2	1,8	1,4	2,1
2,1	1,4	2,5	2,1	3,2	2,8	4,2	4,9	7,5	5,7	8,6
3,2	3,2	5,6	4,8	7,1	6,4	9,6	11,3	16,8	13,2	20,3
4,2	5,6	10,1	8,4	12,6	11,2	16,9	20,3	31,1	23,8	37,2
5,3	8,8	15,9	13,2	19,6	17,7	26,3	32,2	50,3	37,6	63,1
6,3	12,6	23	19,2	28,4	25,5	38,2	47,1	73,2	55,5	91,7
7,4	17,3	31,2	26	38,7	34,8	52,1	65	101	76,4	132

Таблиця 3

$\omega_{\text{введуч}} [\text{рад/с}]$	Масштабний коефіцієнт $n$									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{\text{maxA}(1)}$	$a_{\text{maxB}(1)}$	$a_{\text{maxA}(1,5)}$	$a_{\text{maxB}(1,5)}$	$a_{\text{maxA}(2)}$	$a_{\text{maxB}(2)}$	$a_{\text{maxA}(3,5)}$	$a_{\text{maxB}(3,5)}$	$a_{\text{maxA}(4)}$	$a_{\text{maxB}(4)}$
	Максимальні значення прискорень $[\text{м/с}^2]$									
1,1	0,4	0,6	0,6	1	0,8	1,2	1,4	2,2	1,9	2,6
2,1	1,6	2,6	2,5	4,1	3,4	4,9	5,4	8,1	7,5	10,7
3,2	3,8	5,8	5,6	9,2	7,5	11,2	11,8	17,8	17,3	25,1
4,2	6,7	10,4	10	16,3	13,3	19,8	21,5	32,5	31,2	46,1
5,3	10,5	16,2	15,6	25,3	21	30,6	33,6	51,8	49,3	78,3
6,3	15,1	23,4	22,7	36,7	30,3	44,3	49,2	74,6	72,7	116,3
7,4	20,6	31,7	30,8	50	41,3	60,6	68,4	103,6	100,1	163,4

Таблиця 4

$\omega_{\text{введуч}} [\text{рад/с}]$	Масштабний коефіцієнт $n$									
	$n=1$		$n=1,5$		$n=2$		$n=3,5$		$n=4$	
	$a_{\text{maxA}(1)}$	$a_{\text{maxB}(1)}$	$a_{\text{maxA}(1,5)}$	$a_{\text{maxB}(1,5)}$	$a_{\text{maxA}(2)}$	$a_{\text{maxB}(2)}$	$a_{\text{maxA}(3,5)}$	$a_{\text{maxB}(3,5)}$	$a_{\text{maxA}(4)}$	$a_{\text{maxB}(4)}$
	Максимальні значення прискорень $[\text{м/с}^2]$									
1,1	0,5	0,8	0,7	1,9	1	1,6	1,8	2,9	1,9	3,1
2,1	2	3,3	2,9	8	4	6,7	7	12,3	8	13,1
3,2	4,5	7,2	6,5	17,9	8,9	14,8	16,1	27,1	18,6	30,3
4,2	7,9	12,9	12,1	32,5	16	26,3	29	50,3	33,5	56,8
5,3	12,5	20,1	18,9	49,5	25,1	40,4	44,9	78,7	52,9	95,4
6,3	18	29	27,1	72,6	35,3	59,2	66,3	115,5	78,2	142
7,4	24,1	39,1	36,7	99,5	47,8	80,1	90,8	157,5	107,9	199

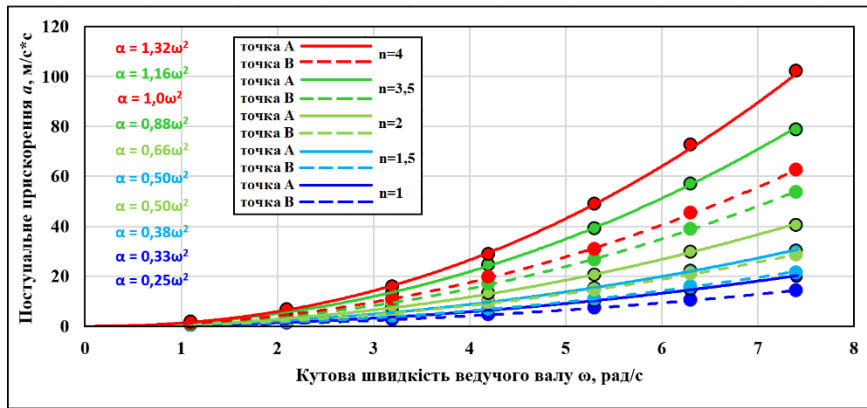


Рис. 4. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=1,4$

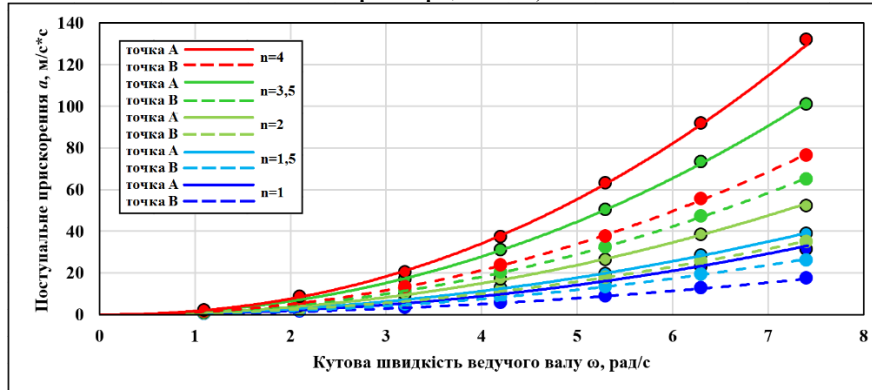


Рис. 5. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=1,6$

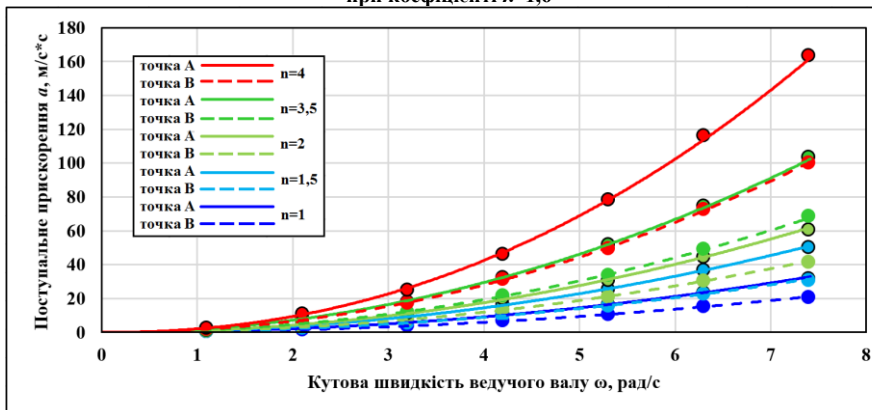


Рис. 6. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=1,8$

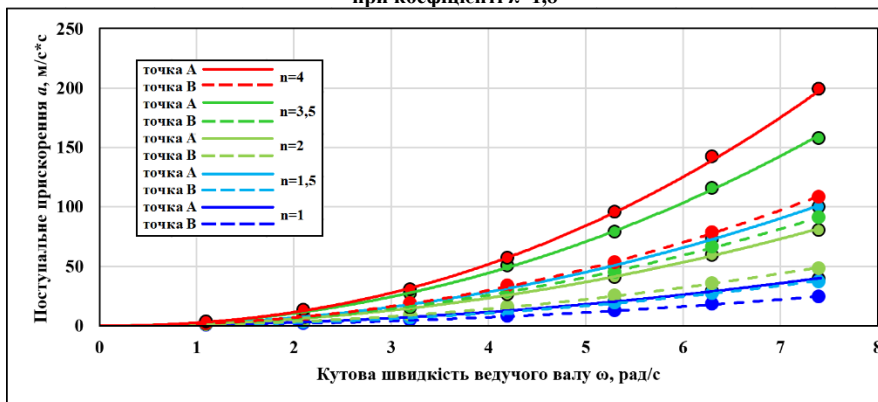


Рис. 7. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=2,0$

Для визначення режиму руху робочого масиву, утворенню якого у ємкості буде відповідати кутова швидкість ведучого валу, виразимо із виразів (4) та (5) значення  $\omega_{ведуч}$ , а також запишемо ці вирази, враховуючи умови, які отримані у попередніх дослідженнях та представлені у роботі [14], що відповідають зміні режимів руху робочого масиву в середині ємкості.

$$\omega_{\text{ведучи}A} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,25n(\lambda - 0,4)^{1,4}}}; \quad (6)$$

$$\omega_{\text{ведучи}B} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,33n(\lambda - 0,4)^2}}; \quad (7)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт, який відповідає частині робочого масиву, яка зможе перейти до стану вільного польоту.

При  $\xi=0,5$  перейти до стану польоту у ємкості зможе перейти приблизно половина робочого масиву, відповідно, за виразами (8), (9) можна буде розрахувати граничне значення кутової швидкості ведучого валу, при якому в середині ємкості почнуть реалізуватися перші ознаки змішаного режиму руху. При  $\xi=1$  весь робочий масив зможе перейти до стану вільного польоту. Таким чином, за виразами (8) та (9) можна буде розрахувати граничне значення кутової швидкості ведучого валу, при якому в середині ємкості почнуть реалізуватися перші ознаки водоспадного режиму руху.

Із застосуванням виразів (8) та (9) розраховано граничні значення кутової швидкості ведучого валу машини, що відповідають зміні режимів руху робочого масиву в середині ємностей машин із відповідним коефіцієнтом  $\lambda$ . Розраховані граничні значення кутової швидкості ведучого валу представлено у таблицях 5–8.

Таблиця 5

$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву
0 – 3,8	0 – 3	0 – 2,6	0 – 2	0 – 1,8	Каскадний
3,9 – 6,3	3,1 – 5,1	2,7 – 4,4	2,1 – 3,3	1,9 – 3,1	Змішаний
6,4 <	5,2 <	4,5 <	3,4 <	3,2 <	Водоспадний

Таблиця 6

$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву
0 – 3,1	0 – 2,5	0 – 2,2	0 – 1,6	0 – 1,5	Каскадний
3,2 – 5,5	2,6 – 4,5	2,3 – 3,9	1,7 – 2,9	1,6 – 2,8	Змішаний
5,6 <	4,6 <	4 <	3 <	2,9 <	Водоспадний

Таблиця 7

$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву
0 – 2,7	0 – 2,1	0 – 1,8	0 – 1,4	0 – 1,3	Каскадний
2,8 – 4,9	2,2 – 4	1,9 – 3,5	1,5 – 2,6	1,4 – 2,5	Змішаний
5 <	4,1 <	3,6 <	2,7 <	2,6 <	Водоспадний

Таблиця 8

$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=1$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=1,5$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=2$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=3,5$	$\omega_{\text{ведучи}}, [рад/с]$ $n=4$	Режим руху робочого масиву
0 – 2,3	0 – 1,9	0 – 1,6	0 – 1,2	0 – 1,1	Каскадний
2,4 – 4,5	2 – 3,7	1,7 – 3,2	1,3 – 2,4	1,2 – 2,3	Змішаний
4,6 <	3,8 <	3,3 <	2,5 <	2,4 <	Водоспадний

### Висновки

1. Виконані дослідження впливу конструктивних особливостей галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою коромислом з горизонтальною віссю обертання на реалізацію режимів руху масиву в середині робочої ємкості зі складним просторовим рухом.

2. Встановлено, що реалізація режимів руху робочого масиву в середині ємкості галтувальної машини залежить від кутової швидкості обертання ведучого валу, масштабного коефіцієнту машини та коефіцієнту, який характеризує відношення відстані між осями робочої ємкості до відстані між осями вилки машини.

3. Отримано математичні залежності для визначення граничної кутової швидкості ведучого валу галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання, що відповідатиме реалізації необхідного режиму руху робочого масиву, при його русі у ємкості.

### Література

1. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2020. – №1 (142). – С. 27-38.
2. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine

with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. Vol. 2 (132). P. 24 – 32.

3. Першин В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа / Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. // Монография – М.: Машиностроение, 2009. – 220 с.

4. [Бурмістенков О.П.](#) Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія / О. П. Бурмістенков, Б. М. Злотенко, В. П. Коновал, І. В. Панасюк, М. Є. Скиба, О. М. Синюк. – Хмельниц., 2007. – 255 с.

5. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, No. 6, November 2020, 762 – 772.

6. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, No. 1, April 2020, p. 54 – 64.

7. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD – The University of Birmingham, UK., 2012. – 316 P.

8. 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.

9. Zalyubovskii M. G. Modeling and designing the barreling machine drive with complex spatial motion of the container / M.G. Zalyubovskii, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // International Applied Mechanics, 58, No. 4, July 2022, p. 472 – 480.

10. Залюбовський М.Г. Визначення залежності між зміною режимів руху робочого масиву та конструктивними особливостями галтувальної машини типу «Turbula» / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2022. – №6 (315). – С. 82 – 88;

11. Залюбовський М.Г. Аналітичне дослідження конструктивних особливостей галтувальної машини типу «Turbula», які впливають на реалізацію відповідного режиму руху робочого масиву / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2023. – № 1 (317). – С. 87 – 93;

12. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев – К.: Університет «Україна», 2018. – 228 с.

13. Панасюк І.В. Визначення залежності режиму руху робочого середовища у ємкості зі складним рухом від кутової швидкості ведучого валу / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – №1. – С. 43-52.

#### References

1. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta ob'iemu zapovnennia yemkosti na intensyvniat viddilennia metalevykh detalei vid lyvnykiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu – 2020. – №1 (142). – S. 27-38.

2. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. Vol. 2 (132). P. 24 – 32.

3. Pershyn V.F. Pererabotka syrchuykh materyalov v mashynakh barabanoho typu / Pershyn V.F., Odnolko V.H., Pershyna S.V. // Monohrafiya – M.: Mashynostroenye, 2009. – 220 c.

4. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimerykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereynii promyslovosti: monohrafiya / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnyts., 2007. – 255 s.

5. Zalyubovskii M. G. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, No. 6, November 2020, 762 – 772.

6. Zalyubovskii M. G. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, No. 1, April 2020, p. 54 – 64.

7. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD – The University of Birmingham, UK., 2012. – 316 P.

8. 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.

9. Zalyubovskii M. G. Modeling and designing the barreling machine drive with complex spatial motion of the container / M.G. Zalyubovskii, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // International Applied Mechanics, 58, No. 4, July 2022, p. 472 – 480.

10. Zaliubovskiy M.H. Vyznachennia zalezhnosti mizh zminoiu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta konstruktyvnymi osoblyvostiamy haltuvalnoi mashyny typu «Turbula» / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – 2022. – №6 (315). – S. 82 – 88;

11. Zaliubovskiy M.H. Analitichne doslidzhennia konstruktyvnykh osoblyvostei haltuvalnoi mashyny typu «Turbula», yaki vplyvaiut na realizatsiu vidpovidnoho rezhymu rukhu robochoho masyvu / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – 2023. – № 1 (317). – S. 87 – 93;

12. Zaliubovskiy M. H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimerykh detalei: monohrafiya / M. H. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, V. V. Malyshev – K.: Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.

13. Panasiuk I.V. Vyznachennia zalezhnosti rezhymu rukhu robochoho sredovyshcha u yemkosti zi skladnym rukhom vid kutovoi shvydkosti veduchoho valu / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu – 2015. – №1. – S. 43-52.