

**ЗАЛЮБОВСЬКИЙ Марк**

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

**ПАНАСЮК Ігор**

Київський національний університет технологій та дизайну  
<https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>  
e-mail: [panasiuk1961@gmail.com](mailto:panasiuk1961@gmail.com)

**КОШЕЛЬ Олександр**

Київський національний університет технологій та дизайну  
e-mail: [a\\_koshel@ukr.net](mailto:a_koshel@ukr.net)

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ЗМІНОЮ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОЧОГО МАСИВУ ТА КОНСТРУКТИВНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ТИПУ «TURBULA»

Із застосуванням системи автоматизованого проектування SolidWorks проведені аналітичні дослідження галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання для можливості визначення залежності між зміною режимів руху робочого масиву та конструктивними особливостями даної галтувальної машини. Зазначено, що переміщення робочого масиву в галтувальних ємкостях з різним характером руху може здійснюватися при каскадному, водоспадному, змішаному, а також закритичному режимах руху. При реалізації кожного режиму руху робочого масиву створюються умови для виконання відповідних галтувальних технологічних операції або змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Встановлено, що зміна режимів руху робочого масиву в галтувальній ємкості, що виконує складний просторовий рух, залежить від трьох факторів – масштабного типорозміру галтувальної машини, кутової швидкості ведучого валу та відношення міжосьової відстані ємності до міжосьової відстані вилок, що характеризується коефіцієнтом  $\lambda$ , встановлено взаємозв'язок між цими факторами. 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 даній ємкості. Отримані результати аналітичних досліджень можуть бути використані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

**Ключові слова:** робоча ємність, режим руху, робочий масив, кутова швидкість.

ZALYUBOVSKYI Mark

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

PANASYUK Igor

Kyiv National University of Technology and Design

KOSHEL Olexandr

Open International University of Human Development "Ukraine"

## DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CHANGE OF THE MOTION MODES OF THE WORKING ARRAY AND THE DESIGN FEATURES OF THE "TURBULA" TYPE TURNING MACHINE

Using the SolidWorks automated design system, analytical studies of the "Turbula" type rolling machine with an additional movable rocker link with a vertical axis of rotation were carried out for the possibility of determining the dependence between the change in the movement modes of the working array and the design features of this rolling machine. 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, mixed, as well as closed modes of movement. During the implementation of each mode of movement of the working array, conditions are created for the performance of appropriate felting technological operations or mixing of loose fine-dispersed substances. It was established that the change in the modes of movement of the working array in the rolling container performing complex spatial movement depends on three factors - the large-scale standard size of the rolling machine, the angular velocity of the drive shaft and the ratio of the interaxial distance of the container to the interaxial distance of the forks, which is characterized by the coefficient  $\lambda$ , the relationship is established between these factors. Mathematical dependencies have been obtained to determine the maximum angular speed of the drive shaft of the "Turbula" type rolling machine with an additional movable rocker link with a vertical 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. The obtained results of analytical studies can be used in the relevant design bureaus of machine-building enterprises at the stage of designing rolling equipment with complex spatial movement of working capacities.

**Keywords:** working capacity, mode of movement, working array, angular velocity.

**Постановка задачі.** Переміщення робочого масиву в галтувальних ємкостях з різним характером руху може здійснюватися при каскадному, водоспадному та змішаному режимах руху [1]. Відомо [2], що при реалізації кожного режиму руху робочого масиву створюються умови для виконання відповідних галтувальних технологічних операції або змішування сипких дрібнодисперсних речовин. Наприклад, у роботі [3] встановлено, що для реалізації галтувальних технологічних процесів покращення якості поверхні полімерних виробів (шліфування та полірування) найбільш раціонально застосовувати змішаний режим

руху, а для реалізації технологічних процесів відділення металевих деталей від ливників [4] – водоспадний.

Зокрема, реалізація кожного режиму руху робочого масиву в середині рухомих ємкостей відбувається при відповідній кутовій швидкості ведучого валу машини. В свою чергу, попередньо, авторами було розроблено цілий ряд галтувальних машин типу «Turbula» зі складним просторовим рухом робочих ємкостей з відмінними конструктивними особливостями – машини з додатковими рухомими ланками [5, 6], машини з двома робочими ємкостями [7], машини зі спеціальними конструкціями приводів [8], кінематичними парами вищих класів тощо.

Оскільки розроблені конструкції галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей типу «Turbula» мають кардинально відмінні конструктивні та технологічні особливості, унеможливується застосування уніфікованих математичних підходів, які описуються залежність між зміною режимів руху робочого масиву та конструктивними особливостями відповідної галтувальної машини.

**Аналіз досліджень та публікацій.** У роботі [9] наведено загальні характеристики режимів руху робочого масиву у галтувальних ємкостях. Вказано, що при реалізації каскадного режиму руху робочий масив проковзує чи перекочується по внутрішній поверхні ємкості, фактично, як єдине ціле, окремі частинки масиву не переходять до стану вільного польоту. У випадку змішаного режиму руху, одна частина масиву рухається як єдине ціле, а інша його частина відривається від загального масиву, розділяється на окремі частинки та перебуває у стані вільного руху. При водоспадному режиму руху весь робочий масив відривається від поверхні ємкості.

Також відомий [10] закритичний режим руху, який характерний виключно для обертових барабанів, при якому утворюється ефект «центрифугування».

У роботі [11] зазначається, що реалізація відповідних режимів руху в середині рухомих ємкостей відрізняється в залежності від того, який характер руху виконує сама ємкість. У обертових барабанах увесь час роботи машини реалізується перманентний режим руху. Авторами отримані математичні вирази для визначення кутової швидкості обертання барабану, при якій буде реалізуватися відповідний режим руху робочого масиву із урахуванням діаметру барабану.

Авторами роботи [11] зазначається, що реалізація зазначених режимів руху робочого масиву в середині ємкості, яка виконує складний просторовий рух, має особливий характер, оскільки будь-який режим руху циклічно приривається, в той час, коли переміщення робочого масиву припиняється, внаслідок зіткнення із торцем ємкості та, в подальшому, змінює напрямок свого руху на протилежний.

У роботі [12] 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. Аналогічні дослідження у роботі [13] виконані і для галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, у якій ведучий вал обертається за отриманим законом зміни кутової швидкості.

**Виділення невирішених частин.** Враховуючи попередні дослідження, можна зробити висновок, що вирази, які дають можливість розрахувати необхідну кутову швидкість ведучого валу, що відповідає утворенню необхідного режиму руху робочого масиву, отримані лише для деяких конструкцій галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. В той само час, залишається низка розроблених галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей з відмінними конструктивними особливостями для яких, до тепер, не проводилися дослідження та не було отримано відповідні математичні залежності.

**Формулювання цілей.** Суть даної роботи полягає у аналітичному дослідженні галтувальної машини типу «Turbula» з додатковою рухомою ланкою коромислом, що має вертикальну вісь обертання з точки зору визначення залежності між зміною режимів руху робочого масиву та її конструктивними особливостями.

**Виклад основного матеріалу.** У роботі [8] синтезовано семиланковий кінематичний ланцюг галтувальної машини типу «Turbula», яка оснащена додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання. В результаті, виключено вплив пасивного зв'язку з просторового кінематичного ланцюгу. Модель машини з додатковою рухомою ланкою коромислом представлена на рис. 1. а, кінематична схема – на рис. 1. б відповідно.

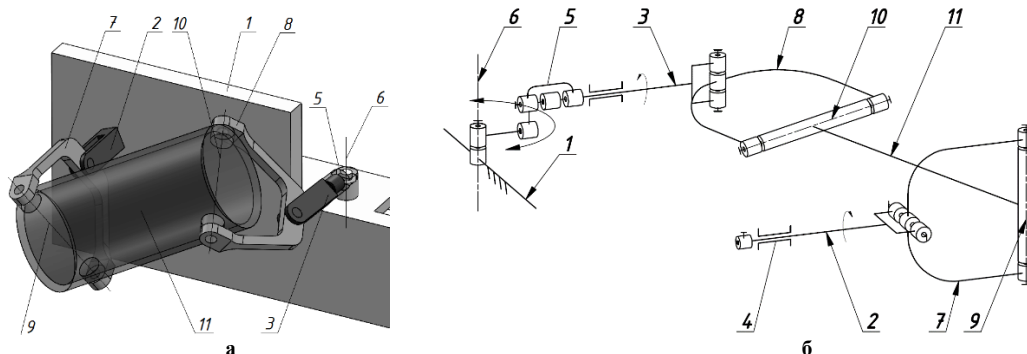


Рис. 1. Конструкція машини з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання: а – модель машини, б – кінематична схема

Просторовий механізм машини містить станину 1, ведучий 2 та ведений 3 вали, при чому, ведучий вал 2 встановлений в підшипниковій опорі 4, а ведений вал 3 кінематично з'єднаний з коромислом 5, яке, з можливістю коливального руху у горизонтальній площині відносно вертикальної вісі 6, рухомо встановлено у станині 1. Ведучий 2 та ведений 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучою 7 та веденою 8 вилками відповідно, діаметрально взаємо перпендикулярні вісі яких 9 і 10 є вісями кріплення робочої ємкості 11.

Попередніми дослідженнями у роботі [14] були представлено аналітичні засади дослідження характеру та режимів руху робочого масиву в середині ємкості, яка виконує складний просторовий рух. Було встановлено, що інтенсивність та характер переміщення робочого масиву в середині ємкості залежить від кутової швидкості ведучого валу машини  $\omega_{ведуч}$ , відповідно від максимальних значень повних прискорень,  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  точок A та B, які співпадають з центрами основ ємкості та масштабного типорозміру конструкції машини n. Аналітичним шляхом у роботах [11, 12, 14] були отримані базові нерівності, що визначають умови переходу від каскадного до водоспадного режиму:

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

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

де g – прискорення вільного падіння; a – максимальне значення повного прискорення торця робочої ємкості.

Зокрема, у роботах [12, 14] зазначалося, що перехід до вільного польоту частинок робочого масиву буде розпочинатися у той момент, коли максимальне прискорення відповідного торця ємкості, де сконцентрований робочий масив, стане перевищувати прискорення вільного падіння g.

Максимальні значення прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  торців ємкості також будуть залежати від значення коефіцієнту  $\lambda$ , який характеризує відношення міжосьової довжини робочої ємкості  $l_{PC}$  до міжосьової довжини ведучої чи веденої вилки  $l_B$ :

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

Подальші аналітичні дослідження виконували з комплексним урахуванням трьох параметрів – кутової швидкості ведучого валу машини  $\omega_{ведуч}$ , масштабного типорозміру конструкції n, а також коефіцієнту  $\lambda$ . Зокрема, виконувалося кінематичне дослідження п'яти масштабних типорозмірів (n=1; 1,5; 2; 3,5; 4) конструкцій галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання, враховуючи зміну коефіцієнту  $\lambda$  ( $\lambda=1,4; 1,6; 1,8; 2,0$ ), 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 вилки та міжосьова відстань робочої ємкості – 0,077 м, діаметр ємкості – 0,095 м.

У табл. 1–4 представлено максимальні значення повних прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  для 5-ти типорозмірів галтувальної 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. 2–5 представлено відповідні графічні залежності.

Таблиця 1

$\omega_{ведуч}$ [рад/с]	Масштабний коефіцієнт n									
	n=1		n=1,5		n=2		n=3,5		n=4	
	$a_{maxA(1)}$	$a_{maxB(1)}$	$a_{maxA(1,5)}$	$a_{maxB(1,5)}$	$a_{maxA(2)}$	$a_{maxB(2)}$	$a_{maxA(3,5)}$	$a_{maxB(3,5)}$	$a_{maxA(4)}$	$a_{maxB(4)}$
Максимальні значення прискорень [м/с <sup>2</sup> ]										
1,1	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	1	1,1	1,2	1,3
2,1	1,2	1,3	1,9	2	2,4	2,6	4,2	4,5	4,8	5,2
3,2	2,6	2,8	3,9	4,2	5,2	5,7	9,1	9,9	10,4	11,3
4,2	4,7	5,1	7,1	7,7	9,4	10,2	16,6	17,9	19	20,4
5,3	7,3	7,9	11	12	14,5	15,8	25,8	27,7	29,5	31,8
6,3	10,5	11,4	15,8	17,1	21	22,7	36,8	40	42,6	46
7,4	14,3	15,5	21,5	23,3	28,6	31,1	50,1	54,3	57,2	63

Таблиця 2

$\omega_{ведуч}$ [рад/с]	Масштабний коефіцієнт n									
	n=1		n=1,5		n=2		n=3,5		n=4	
	$a_{maxA(1)}$	$a_{maxB(1)}$	$a_{maxA(1,5)}$	$a_{maxB(1,5)}$	$a_{maxA(2)}$	$a_{maxB(2)}$	$a_{maxA(3,5)}$	$a_{maxB(3,5)}$	$a_{maxA(4)}$	$a_{maxB(4)}$
Максимальні значення прискорень [м/с <sup>2</sup> ]										
1,1	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	1,3	1,5	1,5	1,9
2,1	1,5	1,9	2,5	2,8	3,1	3,7	5,4	6,2	6,2	7,3
3,2	3,6	4	5,1	6,1	6,7	8,2	11,7	14,1	13,4	16,7
4,2	6,2	7,3	9,2	11,1	12,2	14,6	21,4	25,3	24,5	30,3
5,3	9,4	11,4	14,2	17,3	18,7	22,7	33,3	41,2	38,1	47,5
6,3	13,7	16,4	20,4	24,6	27,1	32,6	47,5	60,8	55	72
7,4	18,6	22,3	27,8	33,6	36,9	44,7	65,7	84,4	73,8	101

Таблиця 3

$\omega_{\text{ведуч.}}$ [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 [м/с <sup>2</sup> ]									
1,1	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,1	1,7	1,9	1,9	2,2
2,1	1,9	2,5	3	3,9	4	5,1	6,7	8,6	7,7	9,1
3,2	4,2	5,5	6,2	8,2	8,3	11,2	14,6	19,8	16,8	21,8
4,2	7,5	10	11,4	15,1	15,1	19,9	26,6	35	30,4	40,7
5,3	11,7	15,5	17,6	23,5	23,2	30,9	41,3	55,9	47,3	65,6
6,3	16,8	22,3	25,3	33,5	33,6	44,5	59	82,2	68,3	97,6
7,4	23	30,4	35,4	46,7	45,8	62,3	82,1	114,5	93,2	138

Таблиця 4

$\omega_{\text{ведуч.}}$ [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 [м/с <sup>2</sup> ]									
1,1	0,6	0,8	1	1,3	1,2	1,6	2	2,8	2,4	3,6
2,1	2,3	3,2	3,7	5,3	4,6	6,9	8,1	11,4	9,3	13,1
3,2	5	7,2	7,5	11,2	10	14,9	17,7	26,1	20,1	33,2
4,2	9,1	12,6	13,7	20,4	18,2	27,1	32,1	47,3	36,7	54,5
5,3	14,1	19,7	21,2	31,6	28,1	41,5	49,9	73,7	57	86,8
6,3	20,3	28,3	30,5	45,7	40,6	60,1	71,6	108,6	82,3	130
7,4	27,6	38,8	41,5	61,6	55,5	82,6	98,2	152,4	113,5	182,3

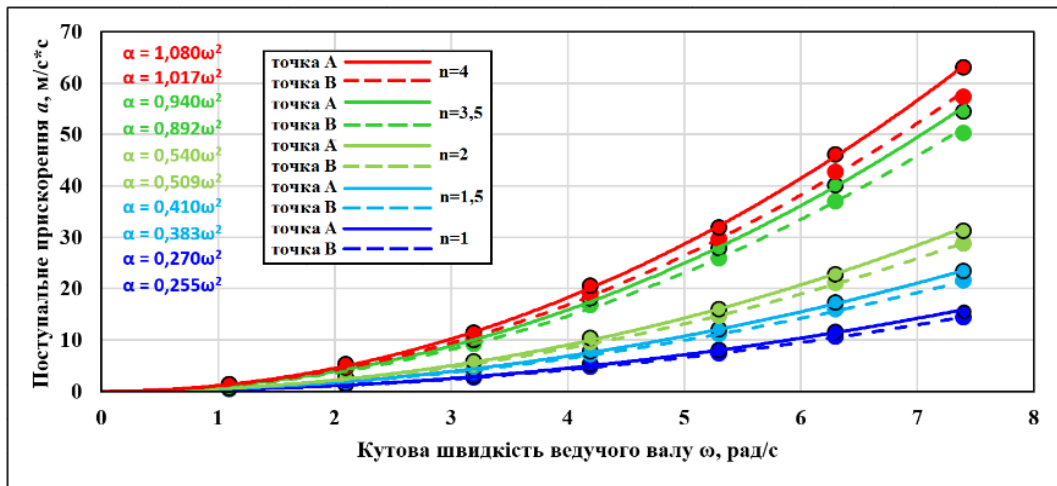


Рис. 2. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{\text{maxA}}$  та  $a_{\text{maxB}}$  від кутової швидкості  $\omega_{\text{ведуч.}}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=1,4$

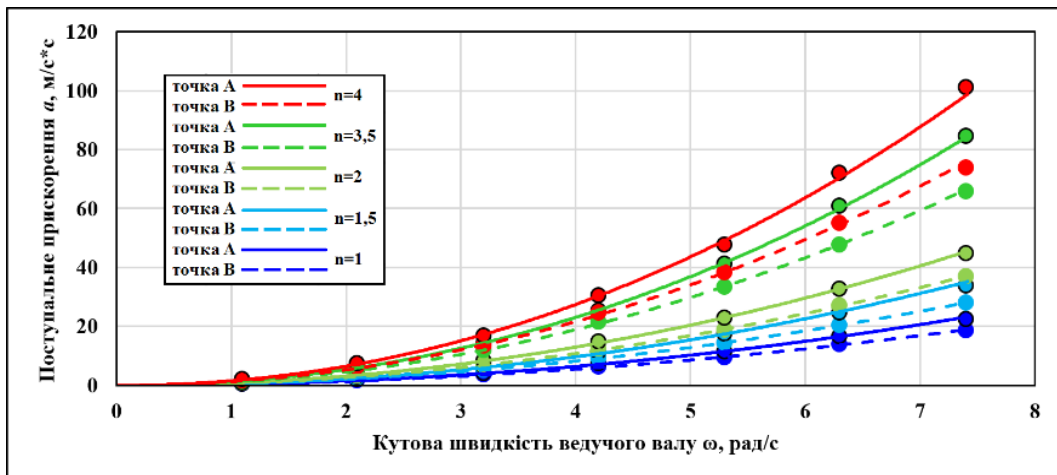


Рис. 3. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{\text{maxA}}$  та  $a_{\text{maxB}}$  від кутової швидкості  $\omega_{\text{ведуч.}}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=1,6$

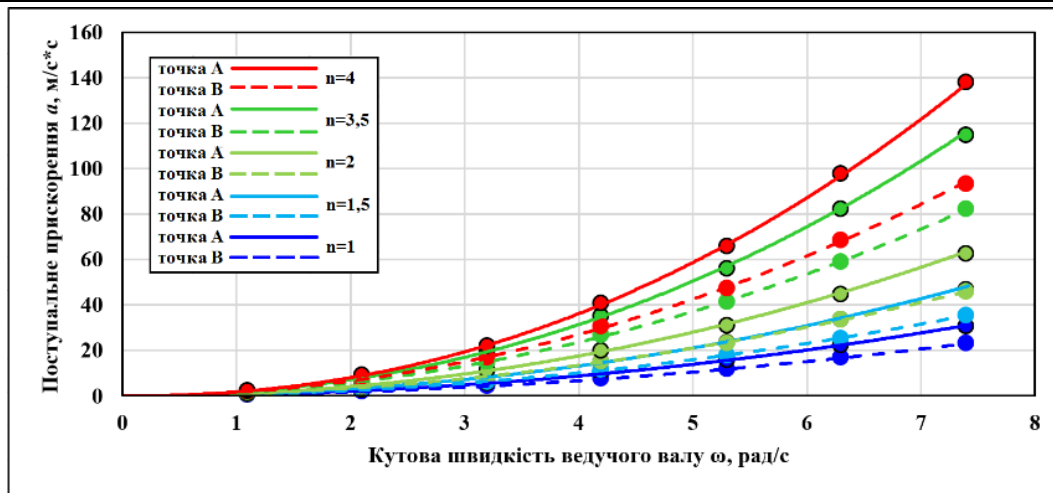


Рис. 4. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=1,8$

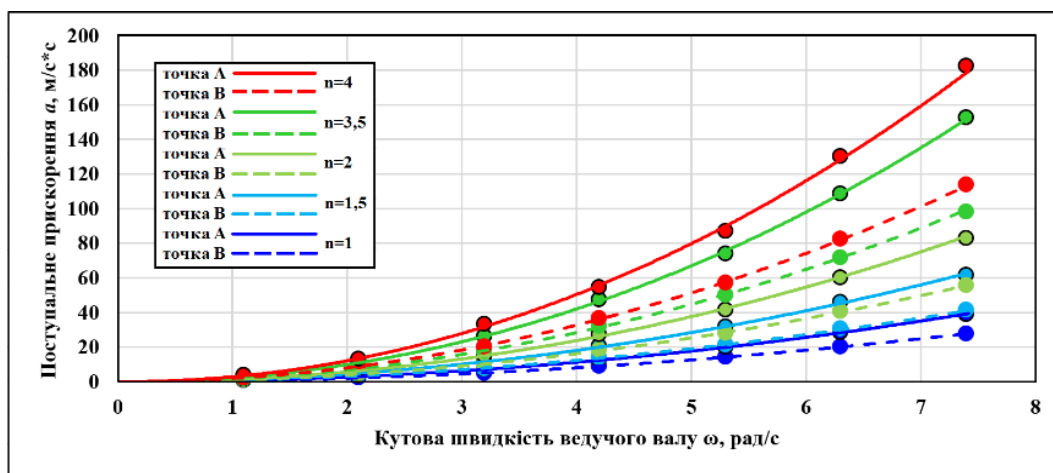


Рис. 5. Графік залежності максимальних значень прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості  $\omega_{ведуч}$  ведучого валу машини при коефіцієнті  $\lambda=2,0$

Проаналізувавши отримані дані та представлені на рис. 2 – рис. 5 графічні залежності встановлено, що приріст прискорень  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  від кутової швидкості ведучого валу  $\omega_{ведуч}$  машини відбувається за квадратичною залежністю, за допомогою Microsoft Excel було отримано відповідні функції (рис. 2). При чому, прискорення  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  також будуть залежати 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, виходячи з представлених вище даних, було встановлено залежність між прискореннями  $a_{maxA}$  та  $a_{maxB}$  та коефіцієнтом  $\lambda$ .

Таким чином, 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 галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою коромислом з вертикальною віссю обертання:

$$a_{maxA} = 0,26n\omega_{ведучA}^2(\lambda - 0,4)^{1,5}; \tag{4}$$

$$a_{maxB} = 0,28n\omega_{ведучB}^2(\lambda - 0,4)^{2,2}. \tag{5}$$

Для можливості визначення відповідного режиму руху робочого масиву, що буде утворюватися в середині ємкості, виразимо із виразів (4) та (5) значення  $\omega_{ведуч}$ :

$$\omega_{ведучA} = \sqrt{\frac{a_{maxA}}{0,26n(\lambda - 0,4)^{1,5}}}; \tag{6}$$

$$\omega_{ведучB} = \sqrt{\frac{a_{maxB}}{0,28n(\lambda - 0,4)^{2,2}}}. \tag{7}$$

Попередніми дослідженнями у роботі [14] зазначено умови, що відповідають зміні режимів руху робочого масиву в середині ємкості. Зокрема, – це умови, які описують нерівності (1) та (2). Запишемо вирази (6) та (7) з урахуванням цих умов:

$$\omega_{ведучA} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,26n(\lambda - 0,4)^{1,5}}}; \tag{8}$$

$$\omega_{\text{ведуч.В}} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,28n(\lambda - 0,4)^{2,2}}}, \quad (9)$$

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

При  $\xi=0,5$  перейти до стану вільного польоту зможе 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 6 – 9.

Таблиця 6

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

Таблиця 7

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

Таблиця 8

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

Таблиця 9

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

### Висновки

1. Встановлено, що зміна режимів руху робочого масиву в галтувальній ємкості, що виконує складний просторовий рух, залежить від трьох факторів – масштабного типорозміру галтувальної машини, кутової швидкості ведучого валу та відношення міжосьової відстані ємності до міжосьової відстані вилок, що характеризується коефіцієнтом  $\lambda$ , встановлено взаємозв'язок між цими факторами.

2. 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. 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.
2. 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.
3. 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.



4. 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.
5. 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, 54 – 64.
6. Zalyubovs'kyi M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / M.G. Zalyubovs'kyi, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // International Applied Mechanics, 57, No. 4, July 2021, 466 – 476.
7. 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.
8. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Панасюк І.В. Визначення закону зміни кутової швидкості ведучого валу машини для обробки деталей зі складним рухом робочої ємкості / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – №5. – С. 40-46.
14. Залюбовський М. Г. Вдосконалення машин зі складним рухом робочих ємкостей для обробки деталей легкої промисловості: дис. канд. техн. наук. // Спец.: 05.05.10 – машини легкої промисловості: захист 28.11.2017 / Залюбовський Марк Геннадійович; наук. кер.: І. В. Панасюк; КНУТД. – К.: КНУТД, 2017. – 278 С.

#### References

1. Panasiuk I.V. Vyznachennia zalezhnosti rezhymu rukhu robochoho seredovyscha u yemkosti zi skladnym rukhom vid kutovoi shvydkosti veduchoho valu / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2015. – №1. – S. 43-52.
2. 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.
3. 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.
4. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta ob'iemu zapovnennia yemkosti na intensyvniat viddilennia metalevykh detalei vid lynnkyiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – №1 (142). – S. 27-38.
5. 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, 54 – 64.
6. Zalyubovs'kyi M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / M.G. Zalyubovs'kyi, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G.V. Koshel' // International Applied Mechanics, 57, No. 4, July 2021, 466 – 476.
7. 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.
8. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75.
9. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereyinii promyslovosti: monohrafiia / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnyts., 2007. – 255 s.
10. Pershin V.F. Pererabotka syrpuchykh materiyalov v mashynakh barabannoho typu / Pershin V.F., Odolko V.H., Pershyna S.V. // Monohrafiia – M.: Mashynostroenyie, 2009. – 220 c.
11. Zaliubovskiy M. H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monohrafiia / M. H. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, V. V. Malyshev – K.: Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.
12. 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.
13. Panasiuk I.V. Vyznachennia zakonu zminy kutovoi shvydkosti veduchoho valu mashyny dlia obrobky detalei zi skladnym rukhom robochoi yemkosti / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2015. – №5. – S. 40-46.
14. Zaliubovskiy M. H. Vdoskonalennia mashyn zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky detalei lehkoii promyslovosti: dys. kand. tekhn. nauk. // Spets.: 05.05.10 – mashyny lehkoii promyslovosti: zakhyst 28.11.2017 / Zaliubovskiy Mark Hennadiiovych; nauk. ker.: I. V. Panasiuk; KNUUD. – K.: KNUUD, 2017. – 278 S.