

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: a_koshel@ukr.net**РУБАНКА МИКОЛА**

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-2367-0333>e-mail: rubanka.mm@knuvd.com.ua**БЕВЗ ДМИТРО**

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: jumpzac@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ РЕЖИМІВ РУХУ ГРАНУЛЬОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА В ДВОХ РУХОМИХ КАМЕРАХ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Виконані, із застосуванням програмного забезпечення автоматизованого проектування «SolidWorks – 2024», аналітичні дослідження машини з двома рухомими камерами, яка застосовується для виконання фінішних галтувальних технологічних процесів. Зокрема, досліджено зміну таких факторів, як швидкість обертання приводного валу, масштабний коефіцієнт та коефіцієнт, що характеризує відношення сумарної відстані між осями кріплення тримачів до робочих рухомих камер на зміну режимів руху гранульованого середовища у кожній з двох робочих камер, які з'єднані між собою кінематичною парою поступального типу. Запропоновано класифікацію режимів руху гранульованого середовища, серед яких виділено шаруватий, комбінований та лавиноподібний. Кожен із режимів руху гранульованого середовища визначає умови реалізації певних видів фінішних галтувальних операцій або процесів перемішування сипких дрібнодисперсних матеріалів. Отримані емпіричні залежності, які дають можливість розрахувати швидкості обертання приводного валу, що є граничними для початку утворення відповідного режиму руху гранульованого середовища у кожній з робочих камер. Встановлено, що перехід від шаруватого до комбінованого та до лавиноподібного режиму руху гранульованого середовища у робочій камері, яка з'єднана з веденим тримачем буде відбуватися при меншій швидкості обертання приводного валу. Однак, в цілому, різниця у швидкостях обертання приводного валу, що характеризуватимуть зміну режимів руху гранульованого середовища у двох робочих камерах досить незначна і нею можна нехтувати. Отримані математичні залежності, в подальшому, можуть бути успішно використані інженерами на стадії проектування даного обладнання.

Ключові слова: гранульоване середовище, режим руху, приводний вал, фінішна обробка.

ZALYUBOVSKYI MARK, KOSHEL SERHIY, RUBANKA MYKOLA, BEVZ DMYTRO

Kyiv National University of Technology and Design

DETERMINATION OF THE CHANGE IN MOTION MODES OF GRANULAR MEDIA IN TWO MOVING CHAMBERS OF A TUMBLING MACHINE

Analytical studies of a machine with two moving chambers, designed for performing finishing tumbling processes, were carried out using the computer-aided design software “SolidWorks – 2024.” The research focused on analyzing the influence of such factors as the rotational speed of the drive shaft, the scaling coefficient, and the coefficient that characterizes the ratio of the total distance between the axes of the holders to the working moving chambers, on the variation of motion modes of the granular medium in each of the two chambers, which are interconnected by a prismatic kinematic pair. A classification of the motion modes of the granular medium is proposed, highlighting layered, combined, and avalanche-like regimes. Each of these motion modes defines the conditions for carrying out certain types of finishing tumbling operations or mixing processes of loose fine-dispersed materials. The influence of such factors as the speed of rotation of the drive shaft, the scale factor and the factor characterizing the ratio of the total distance between the axes of attachment of the holders to the working chambers on the change in the modes of movement of the granular medium in each of the two working chambers, which are interconnected by a kinematic pair of the translational type, was investigated. Empirical dependencies were obtained, allowing the calculation of the critical drive shaft rotation speeds at which the corresponding motion mode of the granular medium begins to form in each working chamber. It was found that the transition from layered to combined and further to avalanche-like motion in the chamber connected to the driven holder occurs at lower drive shaft speeds. However, overall, the difference in the drive shaft speeds characterizing the change of motion modes in the two chambers is relatively small and can be neglected. The derived mathematical relationships can be effectively applied by engineers at the design stage of this type of equipment.

Keywords: granular medium, motion mode, drive shaft, finishing treatment.

Стаття надійшла до редакції / Received 19.03.2026

Прийнята до друку / Accepted 17.07.2026

Опубліковано / Published 31.07.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Залюбовський Марк, Кошель Сергій, Рубанка Микола, Бевз Дмитро

Постановка задачі

Процес виконання фінішних об'ємних технологічних операцій у рухомих робочих камерах [1] базується на складній взаємодії деталей, абразивних частинок та допоміжних елементів технологічного середовища, які разом утворюють так зване гранульоване середовище. Динаміка цього масиву визначається параметрами руху камери та умовами обробки і безпосередньо впливає на ефективність механічного впливу. Для кожного виду

операцій – полірування, тонкого шліфування, зняття задилок, згладження поверхневих дефектів або інтенсивного очищення – підбирається відповідна кінематична модель руху, що забезпечує потрібну інтенсивність контакту між абразивними частинками і деталями. Саме правильний вибір режиму руху дозволяє досягти раціонального поєднання якості обробки, рівномірності результату та продуктивності процесу.

У випадку гальтувального обладнання з різним характером руху робочих камер виділяють три основні режими руху гранульованого середовища [2]. Вони класифікуються залежно від кінематичних параметрів переміщення робочих камер, ступеня заповнення камери та дії сил тяжіння та інерції, що визначає характер переміщення частинок у робочому просторі. До таких режимів належать шаруватий, комбінований, лавиноподібний [3].

Аналіз досліджень та публікацій

У працях [1, 2] подано детальний опис шаруватого, комбінованого, лавиноподібного режимів руху гранульованого середовища в обертових барабанах. У дослідженні [3] розглянуто ті ж режими, проте вже в камерах, що здійснюють переміщення за складними просторовими траєкторіями, із висвітленням особливостей руху масиву всередині них. У статті [4] наведено результати вивчення конструкції змішувача «Turbula» [5], де визначено залежність між швидкістю обертання ведучого валу, розмірами камери та зміною режимів руху. У роботах [6, 7] подібні дослідження виконано для машин, в яких робочі камери здійснюють переміщення за складними просторовими траєкторіями, а просторові механізми яких містять додаткові рухомі ланки – коромисло з вертикальною віссю обертання або повзун, а у іноземних працях [8, 9] розглядається процес змішування сипких речовин з точки зору утворення відповідного руху гранульованого середовища у змішувачі «Turbula». У [10] розглянуто іншу гальтувальну машину зі складною будовою технологічного приводу, що забезпечує обертання ведучого валу за спеціальним визначеним законом зміни кутової швидкості [11], що дозволяє забезпечити стабільність переміщення гранульованого середовища у відповідності до кутової швидкості валу електродвигуна.

Виділення невирішених частин

Спираючись на результати попередніх досліджень, можна дійти висновку, що для кожної створеної конструкції гальтувальної машини або змішувача, в якій робочі камери здійснюють переміщення за складними просторовими траєкторіями та для яких характерні індивідуальні конструктивні особливості, властивими будуть індивідуальні математичні підходи щодо розрахунку швидкості обертання ведучого валу у відповідності до реалізації необхідного режиму руху гранульованого середовища. Застосування вже отриманих математичних залежностей для визначення режимів руху гранульованого середовища в інших конструкціях гальтувальних машин чи змішувачів подібного типу є недоцільним. Існує також низка розроблених оригінальних конструкцій гальтувальних машин з характерними конструктивними відмінностями, для яких дослідження закономірностей зміни режимів руху гранульованого середовища раніше не проводилися. Зокрема, відкритим залишається питання встановлення охарактеризованих вище залежностей для машин, у яких використовуються дві рухомі камери, які кінематично пов'язані між собою, а саме із застосуванням кінематичної пари поступального типу.

Формулювання цілей

Основною ціллю даної роботи є аналітичне визначення, із використанням 3D моделювання у програмному забезпеченні автоматизованого проектування «SolidWorks – 2024», відповідностей між швидкістю обертання ведучого валу, геометричними параметрами, а також утворенням режимів руху гранульованого середовища в середині кожної із двох робочих камер, які рухомо з'єднані між собою кінематичною парою поступального типу та здійснюють переміщення за складними просторовими траєкторіями, гальтувальної машини.

Виклад основного матеріалу

Дослідження, представлені у [3, 12] показують черговий спосіб ліквідації пасивного зв'язку у структурі шарнірного просторового механізму з кінематичними парами обертального типу шляхом доповнення структури механізму допоміжною рухомою ланкою у вигляді робочого органу – ще однієї робочої камери, при чому, з першою робочою камерою вона рухомо поєднувалася із використанням кінематичної пари поступального типу. Модель такої машини показана на рис. 1.а, а кінематична схема її шарнірного просторового механізму – на рис. 1.б.

Машина містить станину (позиц. 1), приводний (позиц. 2) і ведений (позиц. 3) вали, вісі обертання яких є паралельними між собою та знаходяться в одній горизонтальній площині. Приводний (позиц. 2) і ведений (позиц. 3) вали шарнірно з'єднані своїми другими кінцями з ведучим (позиц. 4) та веденим тримачем (позиц. 5) відповідно, геометричні осі (позиц. 6) і (позиц. 7) тримачів є перпендикулярними між собою. За допомогою них тримачі рухомо з'єднані з робочими камерами (позиц. 8) і (позиц. 9). Таким чином, на відміну від традиційних схем просторових шарнірів, тримачі (позиц. 4) і (позиц. 5) розташовані перпендикулярно одна до одної. Робочі камери (позиц. 8) і (позиц. 9) рухомо з'єднані між собою за допомогою кінематичної пари $D1$ поступального типу.

Спираючись на результати попередніх досліджень, наведених у роботі [3], було сформульовано основні принципи формування відповідного режиму руху гранульованого середовища всередині камер, що здійснюють переміщення за складними просторовими траєкторіями.

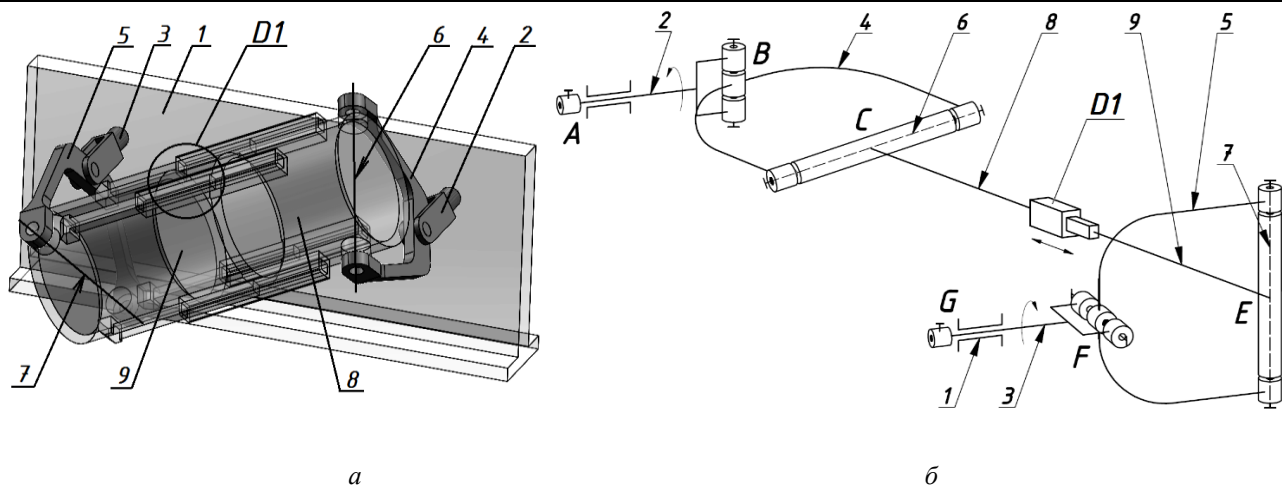


Рис. 1. Конструкція галтувальної машини з двома робочими камерами: а – машин, змодельована у «SolidWorks – 2024»; б – кінематична схема шарнірного просторового механізму

У праці [3, 4] доведено, що на характер переміщення частинок гранульованого середовища в середині робочої камери впливають максимальні значення повних прискорень $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$ точок А і В, розташованих у центрі основ робочих камер певного масштабу типорозміру n , також швидкість обертання приводного валу машини $\omega_{\text{привод}}$. У [4, 7] підкреслюється, що початок вільного польоту частинок робочого масиву відбувається в той момент, коли максимальне прискорення відповідного торця ємності $a_{\max A}$ ($a_{\max B}$), у зоні концентрації гранульованого середовища, перевищує значення прискорення вільного падіння g .

У конструкції машини з двома камерами, кінематично з'єднаними між собою, при роботі машини, апіорі, буде відтворюватися різних характер переміщення гранульованого середовища у кожній з камер, оскільки одна камера кінематично з'єднана з ведучим тримачем, який, у свою чергу, кінематично з'єднаний з приводним валом, інша камера – з веденим тримачем, який, у свою чергу, кінематично з'єднаний з веденим валом. Характер обертання приводного та веденого валів відрізняються. Приводний вал обертається з постійною швидкістю, в той час, як ведений вал буде обертатися за певним законом – прискорюватися та сповільнятися за один оберт. Такий характер обертання валів неминуче буде передаватися на тримачі та, власне, самі робочі камери. Таким чином, просторове переміщення камери, яка кінематично з'єднана з веденим тримачем буде більш інтенсивне за просторове переміщення іншої камери, що буде мати свій вплив на переміщення гранульованого середовища та реалізацію технологічних операцій. Відповідно, необхідним буде визначення пікових значень прискорень для чотирьох точок: $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$ – точок, які знаходяться в центрі основ робочої камери, яка кінематично з'єднана з ведучим тримачем, $a_{\max C}$ та $a_{\max D}$ – точок, які знаходяться в центрі основ робочої камери, яка кінематично з'єднана з веденим тримачем.

Прискорення a точок А, В, С, D, які знаходяться в центрі торців камери будуть залежати від значення коефіцієнту λ , що, в даному випадку, характеризуватиме відношення сумарної відстані $l_{K(MIN)}$ між осями кріплення тримачів до робочих камер, у випадку, коли вони максимально наближені одна до одної та технологічного зазору, який залишається між двома камерами до відстані між осями кріплення одного з тримачів (ведучого чи веденого) l_{TP} .

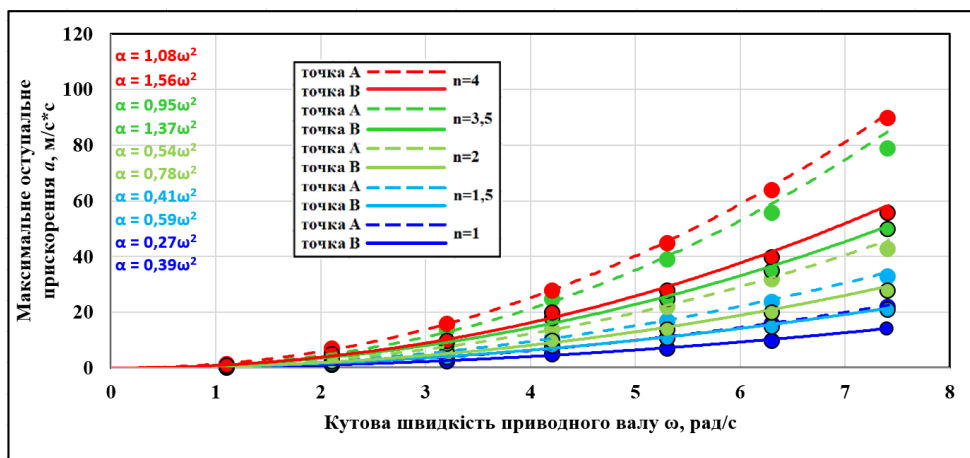
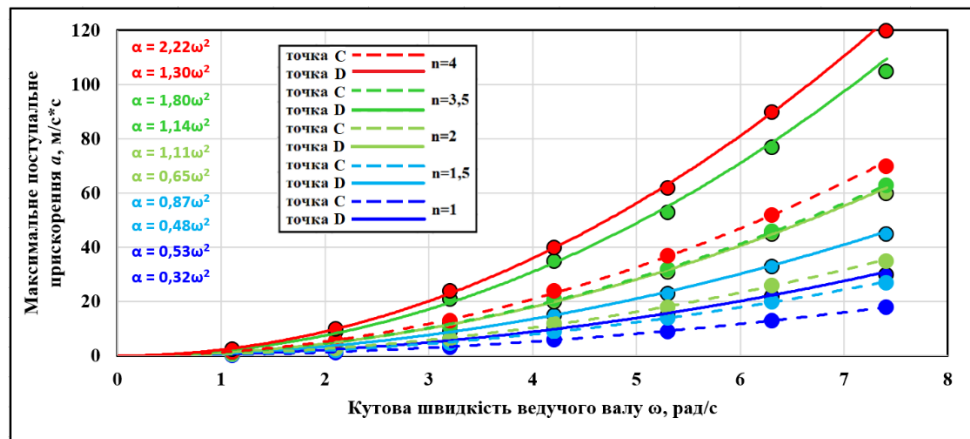
$$\lambda = l_{K(MIN)} / l_{TP}. \quad (1)$$

Подальші аналітичні дослідження проводили з урахуванням 3 факторів впливу, зокрема: швидкості обертання приводного валу $\omega_{\text{привод}}$, масштабу конструкції машини, який характеризується відповідним коефіцієнтом n , а також, попередньо охарактеризованим коефіцієнтом λ . Із застосуванням програмного забезпечення автоматизованого проектування «SolidWorks – 2024» здійснили кінематичне дослідження конструкції галтувальної машини у 5 масштабних коефіцієнтах ($n=1$; $n=1,5$; $n=2$; $n=3,5$; $n=4$), при 7 різних швидкостях обертання приводного валу ($\omega_{\text{привод}} = 1,1$; $2,1$; $3,2$; $4,2$; $5,3$; $6,3$ та $7,4$ c^{-1}) та лише при одному коефіцієнті $\lambda=1,4$, оскільки у роботі [] було встановлено, що таку конструкцію галтувальної машини, з урахуванням навантажень, які виникають у кінематичних парах під час її експлуатації, раціонально експлуатувати у досить вузькому діапазоні зміни коефіцієнту $\lambda = [1,0-1,4]$. Пояснюється це тим, оскільки вже при силових дослідженнях галтувальної машини з коефіцієнтом $\lambda > 1,4$ відзначався вагомий зріст максимальних значень майже усіх реакцій, порівнюючи з максимальними значеннями реакцій у кінематичних з'єднаннях конструкції змішувача «Турбула». «Базовий типорозмір» досліджуваної машини з двома рухомими камерами ($n=1$, $\lambda=1,0$) характеризувався такими розмірами: $l_K = l_B = 0,077$ м, діаметр камери $d_K = 0,095$ м.

У таблиці 1 показані максимальні значення повних прискорень кожної із камер: $a_{\max A}$ та $a_{\max B}$, $a_{\max C}$ та $a_{\max D}$ для 5-ти масштабних коефіцієнтів машини при відповідних 7 значеннях швидкості обертання приводного валу, приймаючи до уваги коефіцієнт $\lambda = 1,4$. Після чого, отримані значення максимальних повних прискорень a точок А, В, С, D було представлено у вигляді апроксимованих графіків, що описуються залежностями квадратичної функції. На рис. 2 наведено дані графіки для точок А та В, а на рис. 3 – для точок С та D.

Таблиця 1

$\omega_{\text{ведуч.}} [\text{с}^{-1}]$	Масштабний коефіцієнт n , при $\lambda=1,4$																			
	$n=1$				$n=1,5$				$n=2$				$n=3,5$				$n=4$			
	$a_{\text{max}A(1)}$	$a_{\text{max}B(1)}$	$a_{\text{max}C(1)}$	$a_{\text{max}D(1)}$	$a_{\text{max}A(1,5)}$	$a_{\text{max}B(1,5)}$	$a_{\text{max}C(1,5)}$	$a_{\text{max}D(1,5)}$	$a_{\text{max}A(2)}$	$a_{\text{max}B(2)}$	$a_{\text{max}C(2)}$	$a_{\text{max}D(2)}$	$a_{\text{max}A(3,5)}$	$a_{\text{max}B(3,5)}$	$a_{\text{max}C(3,5)}$	$a_{\text{max}D(3,5)}$	$a_{\text{max}A(4)}$	$a_{\text{max}B(4)}$	$a_{\text{max}C(4)}$	$a_{\text{max}D(4)}$
	Максимальні значення прискорень $[\text{м/с}^2]$																			
1,1	0,4	0,3	0,4	0,6	0,6	0,5	0,6	1	0,7	0,5	0,8	1,3	1	1	1,4	2	1,6	1	1,6	2,6
2,1	1,8	1,2	1,4	2,5	2,8	1,8	2,1	4	3,6	2,5	2,8	5	6	4	5	9	7,2	5	5,6	10
3,2	4	2,6	3,2	6	6	4	4,8	9	8	5,2	6,4	12	14	9	11	21	16	10	13	24
4,2	7	5	6	10	11	8	9	15	14	10	12	20	25	18	21	35	28	20	24	40
5,3	11	7	9	15	17	11	14	23	22	14	18	31	39	25	32	53	45	28	37	62
6,3	16	10	13	22	24	15	20	33	32	20	26	45	56	35	46	77	64	40	52	90
7,4	22	14	18	30	33	21	27	45	43	28	35	60	79	50	63	105	90	56	70	120

Рис. 2. Графік залежності максимальних значень прискорень $a_{\text{max}A}$ та $a_{\text{max}B}$ від швидкості обертання $\omega_{\text{привод}}$ приводного валу машини, при коефіцієнті $\lambda=1,4$ Рис. 3. Графік залежності максимальних значень прискорень $a_{\text{max}C}$ та $a_{\text{max}D}$ від швидкості обертання $\omega_{\text{привод}}$ приводного валу машини, при коефіцієнті $\lambda=1,4$

Проаналізувавши дані, показані у таблиці 1 та на рисунках 2 та 3, встановлено, що зміна прискорень $a_{\text{max}A}$, $a_{\text{max}B}$, $a_{\text{max}C}$ та $a_{\text{max}D}$, аналогічно до досліджуваної конструкції машини, яка висвітлена у роботі [6], буде описуватися квадратичною функцією. Використавши програмне забезпечення «Microsoft Excel», емпіричним шляхом, було отримано для кожної точки (A, B, C, D) відповідні математичні залежності:

$$a_{\text{max}A} = 0,39n\omega_{\text{привод},A}^2; \quad (3)$$

$$a_{\text{max}B} = 0,27n\omega_{\text{привод},B}^2; \quad (4)$$

$$a_{\text{max}C} = 0,32n\omega_{\text{привод},C}^2; \quad (5)$$

$$a_{\text{max}D} = 0,39n\omega_{\text{привод},D}^2; \quad (6)$$

У дослідженнях, наведених у роботі [7], були встановлені аспекти, які описують зміну режимів руху гранульованого середовища в середині камери. Відповідно, використаємо результати досліджень з праці [6] для конструкції машини з двома робочими камерами та виразимо із рівнянь (3) – (6) значення $\omega_{\text{привод}}$:

$$\omega_{\text{привод}.A} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,39n}}; \quad (7)$$

$$\omega_{\text{привод}.B} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,27n}}; \quad (8)$$

$$\omega_{\text{привод}.C} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,32n}}; \quad (9)$$

$$\omega_{\text{привод}.D} = \sqrt{\xi \frac{g}{0,39n}}; \quad (10)$$

де ξ – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує частину гранульованого середовища, яке буде перебувати у стані вільного польоту під час переміщення в середині робочої камери. Зокрема, при $\xi=0,5$ у стані вільного польоту буде перебувати до 50% гранульованого середовища. Отже, за виразами (7) – (10) можна визначити швидкість обертання приводного валу, що відповідатиме початку утворенню комбінованого режиму руху гранульованого середовища. При $\xi=1$ все гранульоване середовище зможе відірватися від її стінок, таким чином, за виразами (7) – (10) можна визначити швидкість обертання приводного валу, що відповідатиме початку утворенню лавиноподібного режиму руху гранульованого середовища.

Застосовуючи отримані вирази (7) – (10), було розраховано значення швидкості обертання приводного валу, що є граничними для реалізації відповідних режимів руху гранульованого середовища при $\lambda=1,4$. Розраховані значення швидкості обертання приводного валу для робочої камери, що з'єднана з ведучим тримачем наведені у таблиці 2, а розраховані значення швидкості обертання приводного валу для робочої камери, що з'єднана з веденим тримачем наведені у таблиці 3.

Таблиця 2

$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=1$	$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=1,5$	$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=2$	$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=3,5$	$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=4$	Режим руху гранульованого середовища, при $\lambda=1,4$
0 – 3,6	0 – 2,9	0 – 2,5	0 – 1,9	0 – 1,8	Шаруватий
3,7 – 5,9	3 – 4,8	2,6 – 4,2	2 – 3,1	1,9 – 2,9	Комбінований
6<	4,9<	4,3<	3,2<	3<	Лавиноподібний

Таблиця 3

$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=1$	$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=1,5$	$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=2$	$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=3,5$	$\omega_{\text{привод}}, [\text{рад/с}]$ $n=4$	Режим руху гранульованого середовища, при $\lambda=1,4$
0 – 3,5	0 – 2,9	0 – 2,5	0 – 1,9	0 – 1,8	Шаруватий
3,6 – 5,4	3 – 5,4	2,7 – 3,8	2 – 2,9	1,9 – 2,7	Комбінований
5,5<	4,5<	3,9<	3,0<	2,8<	Лавиноподібний

З таблиць 2 та 3, аналогічно до роботи [12], можна переконатися в тому, що інтенсивність переміщення гранульованого середовища в кожній із робочих камер буде мати відмінний характер, зокрема, камера, що з'єднана з веденим тримачем буде переміщатися з більшим прискоренням ніж інша робоча камера, що з'єднана з ведучим тримачем. Відповідно перехід від шаруватого до комбінованого та до лавиноподібного режиму руху гранульованого середовища у робочій камері, яка з'єднана з веденим тримачем буде відбуватися при дещо меншій швидкості обертання приводного валу. Однак, в цілому, різниця у швидкостях обертання приводного валу, що характеризуватимуть зміну режимів руху гранульованого середовища у двох робочих камерах досить незначна і нею можна нехтувати.

Висновки

1. Досліджено вплив таких факторів, як швидкість обертання приводного валу, масштабний коефіцієнт та коефіцієнт, що характеризує відношення сумарної відстані між осями кріплення тримачів до робочих камер на зміну режимів руху гранульованого середовища у кожній з двох робочих камер, які з'єднані між собою кінематичною парою поступального типу.

2. Для галтувальної машини з двома рухомими камерами, що з'єднані між собою кінематичною парою поступального типу, встановлений взаємозв'язок між зміною режимів руху гранульованого середовища, швидкістю обертання приводного валу та масштабним коефіцієнтом.

3. Отримані емпіричні залежності, які дають можливість розрахувати швидкості обертання приводного валу, що є граничними для початку утворенню відповідного режиму руху гранульованого середовища у кожній з робочих камер.

Література

1. 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. Скаба, О. М. Синюк. – Хмельниц., 2007. – 255 с.
2. Бурмістенков, О.П. Основи теорії та практична реалізація пристроїв для зачищувальної обробки формових деталей із полімерних матеріалів / О. П. Бурмістенков, І. В. Панасюк. – К.: НМК ВО, 1993. – 64 с.
3. Залюбовський М.Г. Основи проектування машин зі складним рухом робочих ємкостей для фінішної обробки дрібних деталей: монографія / М. Г. Залюбовський, І. В. Панасюк. – Київ: КНУТД, 2022. – 352 с.
4. 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.
5. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2025 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wab-group.com/en/mixing-technology/products/> (дата відвідування: 23.09.2025).
6. Залюбовський М.Г. Визначення залежності між зміною режимів руху робочого масиву та конструктивними особливостями галтувальної машини типу «Turbula» / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, О.С. Кошель // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2022. – №6 (315). – С. 82 – 88;
7. Залюбовський М.Г. Дослідження зміни режимів руху робочого масиву в галтувальній машині з додатковою рухомою ланкою повзуном в залежності від зміни конструктивних особливостей / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, Д.О. Личов, Г.В. Кошель // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2023. – №1 (317). – С. 87–93.
8. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of TurbulaMixer Motion using Positron Emission Particle Tracking / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Ingram, E. H. Stitt // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences. – 2010, Vol. 59 (3). – P. 217-238.
9. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part B: Investigation of Flow and Mixing in the Turbula mixer / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, A. Ingram, E. H. Stitt // Powder Technology. – 2011, Vol. 212. – P. 17-24.
10. 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, 472 – 480.
11. 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.
12. 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.

References

1. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzzuttyvii 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.
2. Burmistenkov, O.P. Osnovi teorii ta praktychna realizatsiia prystroiv dlia zachyshchuvainoi obrobky formovykh detalei iz polimernykh materialiv / O. P. Burmistenkov, I. V. Panasiuk. – K.: NMK VO, 1993. – 64 s.
3. Zaliubovskiy M.H. Osnovy proektuvannia mashyn zi skladnym rukhom robochykh yemkosteï dlia finishnoi obrobky dribnykh detalei: monohrafiia / M. H. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk. – Kyiv: KNUITD, 2022. – 352 s.
4. Panasiuk I.V. Vyznachennia zalezhnosti rezhymu rukhu robochoho sredovyscha u yemkosti zi skladnym rukhom vid kutovoi shvydkosti veduchoho valu / I.V. Panasiuk, M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2015. – №1. – S. 43-52.
5. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2025 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wab-group.com/en/mixing-technology/products/> (дата відвідування: 23.09.2025).
6. Zaliubovskiy M.H. Vyznachennia zalezhnosti mizh zminoiu rezhymiv rukhu robochoho masivu ta konstruktivnymi osoblyvostiamy haltuvainoi mashyny typu «Turbula» / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, O.S. Koshel' // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky – 2022. – №6 (315). – S. 82 – 88;
7. Zaliubovskiy M.H. Doslidzhennia zminy rezhymiv rukhu robochoho masivu v haltuvainii mashyni z dodatkovoiu rukhomoiu lankoiu povzunom v zalezhnosti vid zminy konstruktivnykh osoblyvosteï / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, D.O. Lychov, H.V. Koshel' // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky – 2023. – №1 (317). – S. 87–93.
8. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of TurbulaMixer Motion using Positron Emission Particle Tracking / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Ingram, E. H. Stitt // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences. – 2010, Vol. 59 (3). – P. 217-238.
9. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part B: Investigation of Flow and Mixing in the Turbula mixer / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, A. Ingram, E. H. Stitt // Powder Technology. – 2011, Vol. 212. – P. 17-24.
10. 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, 472 – 480.
11. 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 natsionalnogo universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2015. – №5. – S. 40-46.
12. 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.