

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.924.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.1/02>**Кошель О.С.**<https://orcid.org/0009-0006-3788-9298>

Київський національний університет технологій та дизайну

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

Київський національний університет технологій та дизайну

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

Київський національний університет технологій та дизайну

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

Київська державна академія декоративно-прикладного мистецтва і дизайну імені Михайла Бойчука

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОВЖИНИ ЄМНОСТІ НА РУХ МАСИВУ ДЕТАЛЕЙ У МАШИНІ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

У статті розроблено варіанти плану експериментального дослідження для встановлення взаємного впливу переносної та відносної частот обертання приводних валів машини розробленої конструкції в залежності від робочої довжини технологічного контейнера циліндричної форми, яка рухається в просторі за складною траєкторією на режим руху масиву деталей, що обробляється. Виконано варіанти експериментального дослідження для ряду різних робочих довжин технологічного контейнера галтувальної машини з метою встановлення взаємного впливу переносної та відносної частот обертання приводних валів машини розробленої конструкції на зміну режиму руху масиву деталей в контейнері машини з каскадного на каскадно-водоспадний. Виконано обробку результатів експериментального дослідження за допомогою математичних методів аналізу та встановлено взаємний вплив переносної та відносної частот обертання двох приводних валів галтувальної машини та робочої довжини технологічного контейнера циліндричної форми на появу в технологічному контейнері каскадно-водоспадного руху робочого масиву деталей. Отримано математичні рівняння, які дозволяють з'ясувати взаємозалежність параметрів частот обертання приводних валів галтувальної машини розробленої конструкції для реалізації перехідного режиму руху робочого масиву деталей у технологічному контейнері машини, що дозволяє для деталей того чи іншого асортименту підбирати такі режими їх руху, які би дозволили ефективно виконати їх обробку. Виконано перевірку адекватності отриманих математичних моделей. Практично підтверджена можливість застосування на галтувальній машині розробленої конструкції робочих контейнерів циліндричної форми з різною робочою довжиною. Конструкція машини дозволяє шляхом зміни частоти обертання одного з приводних валів підбирати таку її величину у відповідності до частоти обертання другого вала, коли у технологічному контейнері певної довжини буде спостерігатися поява необхідного для обробки деталей режиму руху. Встановлено, що варіювання довжини технологічного контейнера машини від меншої величини до



більшої призводить до необхідності збільшення величини частоти обертання приводного вала, що відповідає за переносний рух робочого контейнера при одночасному зменшенні частоти обертання вала, який задає йому відносний обертальний рух, щоб рух робочого масиву деталей у контейнері машини відповідав перехідному від каскадного до каскадно – водоспадного режиму.

Ключові слова: механізм, галтувальна машина, просторовий рух, деталі легкої промисловості, обробка деталей, обробна машина, експериментальне дослідження, математичні методи аналізу, математичні методи обробки результатів, математична модель, перевірка за критерієм Фішера.

Постановка проблеми. На підставі аналізу результатів проведених експериментальних досліджень [1] отримано практичне підтвердження ефективності машин з просторовим складним рухом робочої ємності для проведення процесу обробки деталей з поліефірних матеріалів, а в роботі [2] наведено експериментальні результати, які свідчать, що обробка полімерних деталей легкої промисловості в технологічній ємності закритого типу, що має просторовий складний рух, з використанням технологічного середовища у вигляді гранульованого абразивного матеріалу дозволяє майже в два рази зменшити технологічний час обробки в порівнянні з аналогічними результатами обробки на машинах, в яких ємність мала суто обертальний рух. Відомі запатентовані способи шліфування [3] і полірування [4] деталей, які виготовлено з полімерних матеріалів за допомогою вологого технологічного середовища на галтувальних машинах з просторовим складним рухом технологічної ємності є підтвердженням того, що для обробки деталей легкої промисловості перевагу необхідно надавати машинам, в яких застосовуються робочі ємності замкненого типу, а їх рух має бути просторовим та складним. Просторовий складний рух робочої ємності машини є також характерним для виконання технологічної операції змішування дрібнодисперсних речовин на харчових, фармацевтичних, будівельних та інших виробництвах [5].

Технологічні операції шліфування та полірування деталей [6], зачищення від облою та гострих кромок, відокремлення деталей від ливників, якщо вони були виготовлені за допомогою технології лиття [7], для деталей, що застосовуються в легкій промисловості варто виконувати за умови забезпечення необхідних режимів їх руху у технологічному контейнері машини для обробки деталей [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В галтувальних машинах для обробки деталей з складним рухом робочого контейнера у просторі основою рухомої механічної системи є механізм, який використовується в машинах типу «Turbula» [9]. Структурною особливістю такого просторового механізму є те, що робочий контейнер

механізму одночасно виконує функції проміжної ланки [10], розміри якої чітко обумовлені його кінематичною схемою. Геометричні параметри просторового механізму з одним ведучим та іншим веденим кривошипам суттєво впливають на величини реакцій, що виникають в його кінематичних парах, їх варіювання може призвести до критично небезпечних для працездатності механізму величин [11], а тому конструкція машини не дозволяє застосування робочих контейнерів різної довжини. Зауважимо, що робоча довжина технологічного контейнера машини для обробки деталей є важливим технологічним параметром, що впливає на процес обробки деталей.

Машина удосконаленої конструкції [12, 13] розроблена для обробки деталей індустрії моди різного асортименту, а отже, використання робочих контейнерів різної довжини для їхньої обробки є технологічною необхідністю. Машина розробленої конструкції [14] не має функціональних обмежень в використанні робочих контейнерів різної довжини та геометричної форми.

Встановлення залежностей між робочими частотами обертання ведучих валів машини та режимами руху робочого масиву деталей в контейнері машини є актуальною задачею [15].

Постановка завдання. Виконати експериментальне дослідження взаємного впливу частот обертання приводних валів машини розробленої конструкції, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей з каскадного на каскадно– водоспадний в залежності від обротної робочої довжини технологічного контейнера циліндричної форми у галтувальній машині.

Виклад основного матеріалу. Експериментальна машина для обробки деталей з просторовим складним рухом технологічного контейнера циліндричної форми (рис. 1) містить корпус з напрямними 1, на яких кріпиться нерухома 2 та розміщена рухома стійка 3. На нерухомій стійці 2 розташовано підшипникову опору ведучого вала переносного руху 6 технологічного контейнера 9, до якого жорстко приєднується кривошип із противагою 4, який разом з ним обертається та задає переносний обертальний рух циліндричному контейнеру відносно геометричної осі вала

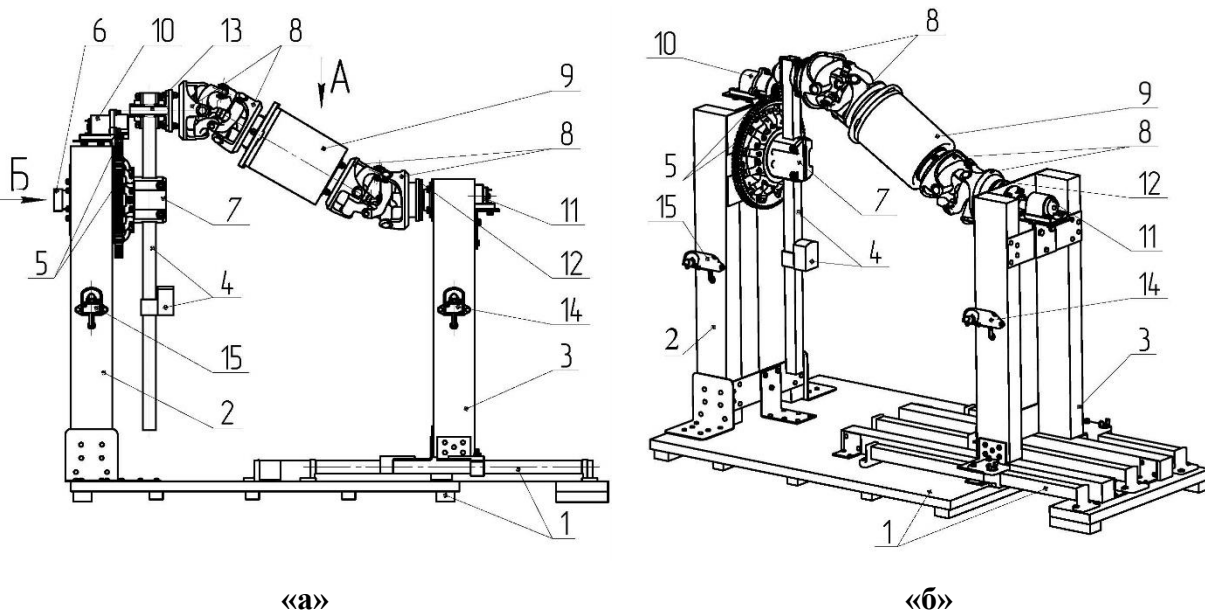


Рис. 1. Експериментальна машина для обробки деталей розробленої конструкції («а» – вид спереду, «б» – наочне зображення)

6. Довжину кривошипа можна змінювати за допомогою муфти 7. З іншого боку, на рухомій стійці 3 знаходиться підшипникова опора іншого ведучого вала відносного руху 12 циліндричного контейнера 9, який обертається та задає обертальний відносний рух контейнеру циліндричної форми навколо своєї геометричної осі. Ведучі вали 6 та 12 кінематично знаходяться в з'єднаному стані за допомогою просторового кінематичного ланцюга, до складу якого надходять технологічний контейнер 9 з розташованими по різні боки двома шарнірами кутових швидкостей 8, які з однієї сторони кінематично приєднані до ведучого вала відносного руху 12 контейнера 9, а з іншої – до кривошипа за допомогою опорної осі 13. Ведучі вали 6 та 12 розташовуються по різні боки по відношенню до просторового кінематичного ланцюга та мають спільну геометричну вісь обертання – вали розташовано співвісно.

Технологічний контейнер 9 разом з робочим масивом деталей в машині розробленої конструкції отримує складний просторовий рух від двох незалежних приводів переносного руху 10 та відносного руху 11, які, відповідно, з одного боку за допомогою зубчастої передачі приводу кривошипа 5 задають контейнеру 9 переносний обертальний рух навколо спільної геометричної осі валів 6 та 12, а з іншого – відносний обертальний рух навколо геометричної осі контейнера циліндричної форми. Машина укомплектована органами незалежного керування частотою та напрямком обертання ведучих валів 6 та 12: для ведучого

вала відносного руху 12 – контролером 14 відносного руху робочого контейнера, для ведучого вала переносного руху 6 – контролером 15 переносного руху контейнера.

Наявність двох незалежних приводів в машині дозволяє забезпечити складний рух технологічного контейнера 9 з можливістю регулювання динамічних параметрів його руху в широкому діапазоні величин, що є важливим для підбору необхідних режимів руху для об'ємної поверхневої обробки масиву деталей широкого асортименту, який є характерним для деталей, що використовуються в легкій промисловості.

Згідно з планом проведення експериментальних досліджень (табл. 1) реалізовано варіанти 37 – 42 експерименту для довжини технологічного контейнера $l=0,21$ м з метою встановлення взаємного впливу переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини розробленої конструкції, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей з каскадного на каскадно- водоспадний в залежності від обротної робочої довжини технологічного контейнера циліндричної форми.

У таблиці 2 представлено отримані результати виконаного експериментального дослідження для серії паралельних трьох повторень ($n=3$) для кожного з проведених експериментів. Також у таблиці наведено середню величину параметра частоти обертання ведучого вала n_{3r} , що відповідає за відносний рух технологічного контейнера. На рівні кожного фактора кількість повторень експеримен-

Таблиця 1

Варіанти плану експериментального дослідження для встановлення впливу переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини в залежності від довжини контейнера циліндричної форми на режим руху деталей

Варіант	Значення факторів			Частота відносного обертання технологічного контейнера n_{3r} , об/хв	Примітка
	Частота переносного обертання технологічного контейнера n_{5c} , об/хв	Довжина технологічного контейнера циліндричної форми l , м	Кут нахилу технологічного контейнера α		
37	0	0,21	36,7	n_{3r}	Дослідження зміни руху масиву деталей у контейнері.
38	10	0,21	36,7	n_{3r}	
39	20	0,21	36,7	n_{3r}	
40	30	0,21	36,7	n_{3r}	
41	40	0,21	36,7	n_{3r}	
42	50	0,21	36,7	n_{3r}	
43	0	0,25	33,0	n_{3r}	Дослідження зміни руху масиву деталей у контейнері.
44	10	0,25	33,0	n_{3r}	
45	20	0,25	33,0	n_{3r}	
46	30	0,25	33,0	n_{3r}	
47	40	0,25	33,0	n_{3r}	
48	50	0,25	33,0	n_{3r}	
49	0	0,29	30,0	n_{3r}	Дослідження зміни руху масиву деталей у контейнері.
50	10	0,29	30,0	n_{3r}	
51	20	0,29	30,0	n_{3r}	
52	30	0,29	30,0	n_{3r}	
53	40	0,29	30,0	n_{3r}	
54	50	0,29	30,0	n_{3r}	

Таблиця 2

Експериментальне дослідження до встановлення впливу переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини в залежності від довжини контейнера циліндричної форми на режим руху деталей ($l=0,21$ м, $\alpha_{(0)}=36,7^\circ$, $r=0,06$ м)

Параметр \ Результат	$n_{5c} = 0$, об/хв	$n_{5c} = 10$, об/хв	$n_{5c} = 20$, об/хв	$n_{5c} = 30$, об/хв	$n_{5c} = 40$, об/хв	$n_{5c} = 50$, об/хв
n_{3r} , об/хв	132,00 137,00	126,75 123,50	103,00 106,50	82,00 84,50	58,50 61,00	27,5 27,25
\bar{y}	133,00 134,0	123,25 124,50	104,00 104,50	81,00 82,50	59,00 59,50	27,75 27,5

тальних вимірювань параметра дорівнює три, що підтверджено перевіркою за t – критерієм Стьюдента.

У таблиці 2 та інших: $r = 0,06$ м = const – радіус технологічного контейнера циліндричної форми розробленої галтувальної машини, м; $\alpha_{(0)}$ – кут нахилу геометричної осі контейнера циліндричної форми до горизонту для вертикального верхнього положення кривошипу, град.

Згідно з математичними методами обробки результатів експериментальних досліджень [11–13] отримано алгебраїчне рівняння, яке вста-

новлює взаємозалежність параметрів, що досліджуються наступного вигляду:

$$\hat{y} = n_{3r} = -22,2 \cdot 10^{-3} \cdot n_{5c}^2 - 102,98 \cdot 10^{-2} \cdot n_{5c} + 134,88, \quad (1)$$

За рівнянням (1) побудовано графічну залежність (рис. 2), за якою аналізуємо взаємний вплив переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів з урахуванням довжини $l=0,21$ м контейнера циліндричної форми на появу каскадно – водоспадного режиму руху масиву деталей у технологічному контейнері розробленої галтувальної машини.

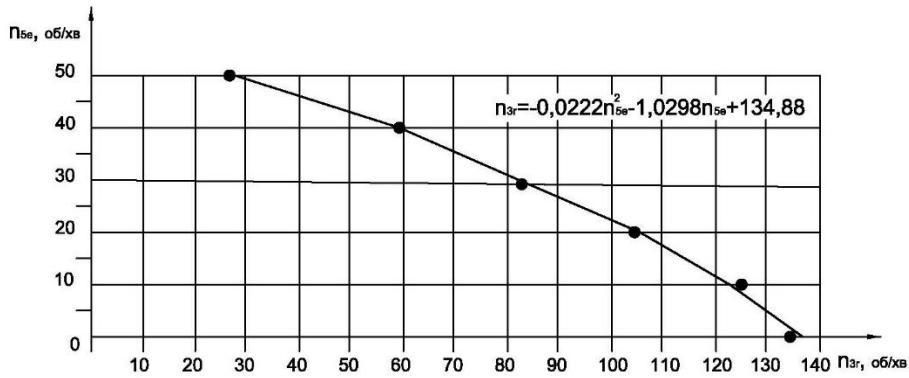


Рис. 2. Графічна залежність впливу переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини на появу каскадно – водоспадного режиму руху деталей у контейнері машини ($l=0,210$ м)

Виконуємо перевірку адекватності отриманого алгебраїчного рівняння з довірчою вірогідністю 0,95 за критерієм Фішера. Для варіантів експерименту 37 – 42 (табл. 1) з довжиною технологічного контейнера $l=0,21$ м результати розрахунків представлено у таблиці 3.

За результатами перевірки адекватності математичних розрахунків маємо підтвердження стосовно того, що результати експериментального аналізу та аналогічні, які отримано за допомогою математичної моделі співпадають з 95% вірогідністю. Порівняння критерію Фішера, величина якого розраховано за результатом проведеного експерименту менша за його табличне значення для довірчої вірогідності 0,95 ($F_{розр} = 3,25 < F_{табл} = 3,49$).

Згідно з варіантами плану експериментального дослідження (табл. 1) проведено варіанти експерименту 43 – 48 та 49 – 54, відповідно, для довжин

робочих контейнерів $l=0,25$ м та $l=0,29$ м для того, щоб встановити взаємний вплив переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини розробленої конструкції на утворення каскадно – водоспадного режиму руху масиву деталей.

В таблицях 4 та 5 наведено результати проведених досліджень. Представлено отримані параметри експериментів з урахуванням рекомендацій, які отримано за розрахованим критерієм Стюдента щодо кількості повторень кожного з них, визначено середню їх величину \bar{y} .

За методом найменших квадратів отримано алгебраїчні рівняння впливу переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини розробленої конструкції в залежності від довжини технологічного \bar{y} контейнера циліндричної форми ($l=0,25$ м та $l=0,29$ м) на режим руху масиву деталей:

Таблиця 3

Математична обробка результатів експериментального дослідження для встановлення впливу переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини в залежності від довжини контейнера циліндричної форми на режим руху деталей ($l=0,21$ м, $\alpha_0 = 36,7^\circ$, $r=0,06$ м).

Математична модель: $y = n_{3r} = -22,2 \cdot 10^{-3} \cdot n_{5c}^2 - 102,98 \cdot 10^{-2} \cdot n_{5c} + 134,88$

Варіант	n_{5c} , об/хв, x	n_{3r} , об/хв, \bar{y}	x^2	$x \cdot \bar{y}$	\hat{y}	
37	0	134,0	0	0,0	134,88	0,7744
38	10	124,5	100	1245,0	122,36	4,5710
39	20	104,5	400	2090,0	105,40	0,8172
40	30	82,5	900	2475,0	84,01	2,2680
41	40	59,5	1600	2380,0	58,17	1,7742
42	50	27,5	2500	1375,0	27,89	0,1521
Сума	150	532,5	5500	9565,00	532,71	10,3570

Дисперсія адекватності $S_{ad}^2 = 10,3570$

Дисперсія відтворення $S_{(y)}^2 = 3,1875$

Критерій Фішера (розрахунок) – $F_{розр} = 10,3570/3,1875 = 3,25$

Критерій Фішера для вірогідності 0,95% (таблиця) – $F_{табл} = 3,49$

Таблиця 4

Експериментальне дослідження до встановлення впливу переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини в залежності від довжини контейнера $(\bar{y} - \hat{y})^2 \bar{y}$ циліндричної форми на режим руху деталей ($l=0,25$ м, $\alpha_{(l)}=33,0^\circ$, $r=0,06$ м)

Параметр	$n_{5c} = 0$, об/хв	$n_{5c} = 10$, об/хв	$n_{5c} = 20$, об/хв	$n_{5c} = 30$, об/хв	$n_{5c} = 40$, об/хв	$n_{5c} = 50$, об/хв
Результат						
n_{3r} , об/хв	128,25 132,0 132,75 131,0	124,0 122,0 120,0 122,0	102,5 104,5 102,0 103,0	83,75 85,25 84,5 84,5	61,25 61,0 62,25 61,5	32,25 33,25 32,0 32,5

Таблиця 5

Експериментальне дослідження до встановлення впливу переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини в залежності від довжини контейнера циліндричної форми на режим руху деталей ($l=0,29$ м, $\alpha_{(l)} = 30,0^\circ$, $r=0,06$ м)

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

$$\hat{y} = n_{3r} = -20,7 \cdot 10^{-3} \cdot n_{5c}^2 - 94,29 \cdot 10^{-2} \cdot n_{5c} + 131,64, \text{ та (2)}$$

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

За рівняннями (2) та (3) побудовано графічні залежності (рис. 3, 4), за якими аналізуємо взаємний вплив переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини з урахуванням довжин $l=0,25$ м та $l=0,29$ м контейнерів циліндричної форми на появу каскадно – водоспадного режиму руху масиву деталей у технологічному контейнері розробленої галтувальної машини.

Виконуємо перевірку адекватності отриманих алгебраїчних рівнянь з довірчою вірогідністю 0,95

за критерієм Фішера. Для варіантів експерименту 43 – 48 та 49 – 54 (табл. 1) з довжиною технологічних контейнерів $l=0,25$ м та $l=0,29$ м результати розрахунків представлено у таблицях 6 та 7.

За результатами перевірки адекватності математичних розрахунків маємо підтвердження стосовно того, що результати експериментального аналізу та, відповідно, тих, які отримано за допомогою математичних моделей співпадають з 95% вірогідністю. Порівняння величин критерію Фішера, які розраховано за результатами проведених експериментів є меншими за величиною в порівнянні з аналогічними його табличними значеннями для довірчої вірогідності 0,95 (для

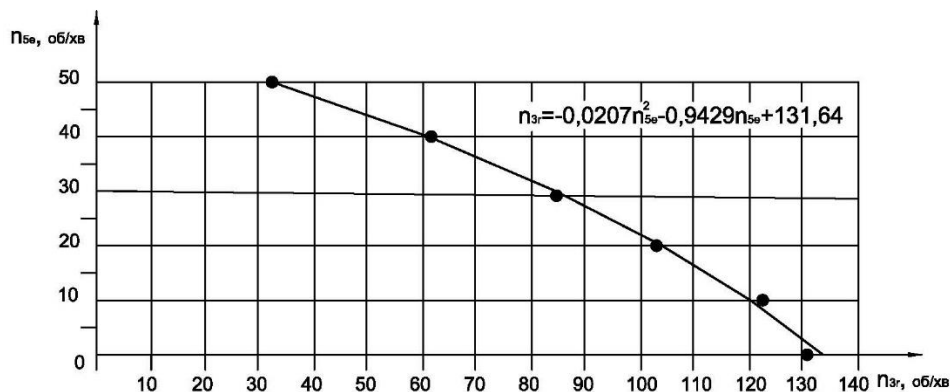


Рис. 3. Графічна залежність впливу переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини на появу каскадно – водоспадного режиму руху деталей у контейнері машини ($l=0,250$ м)

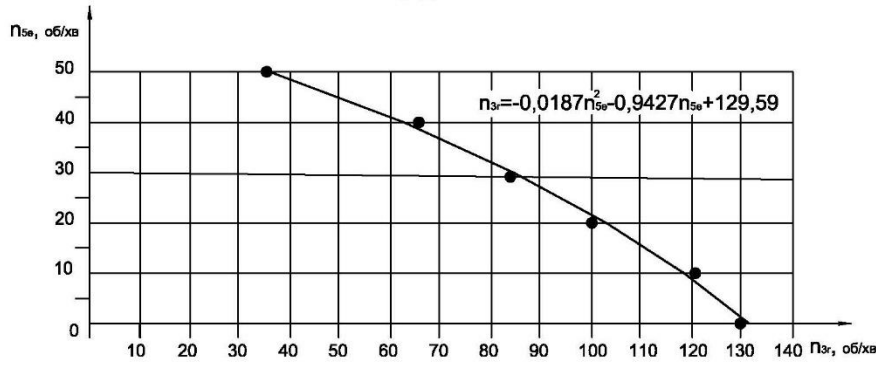


Рис. 4. Графічна залежність впливу переносної n_{se} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини на появу каскадно – водоспадного режиму руху деталей у контейнері машини ($l=0,290$ м)

Таблиця 6

Математична обробка результатів експериментального дослідження для встановлення впливу переносної n_{se} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини в залежності від довжини контейнера циліндричної форми на режим руху деталей ($l=0,25$ м, $\alpha_{(l)}=33,0^\circ$, $r=0,06$ м).

Математична модель: $\hat{y} = n_{3r} = -20,7 \cdot 10^{-3} \cdot n_{se}^2 - 94,29 \cdot 10^{-2} \cdot n_{se} + 131,64$

Варіант	n_{se} , об/хв, x	n_{3r} , об/хв, \bar{y}	x^2	$x \cdot \bar{y}$	\hat{y}	$(\bar{y} - \hat{y})^2$
43	0	131,0	0	0	131,64	0,4096
44	10	122,0	100	1220	120,14	3,4588
45	20	103,0	400	2060	104,5	2,256
46	30	84,5	900	2535	84,72	0,04973
47	40	61,5	1600	2460	60,8	0,48442
48	50	32,5	2500	1625	32,75	0,06002
Сума	150	534,5	5500	9900,00	534,56	6,7157
Дисперсія адекватності $S_{ad}^2 = 6,7157$						
Дисперсія відтворення $S_{(y)}^2 = 2,1667$						
Критерій Фішера (розрахунок) – $F_{розр} = 6,7157/2,1667 = 3,10$						
Критерій Фішера для вірогідності 0,95 (таблиця) – $F_{табл} = 3,49$						

Таблиця 7

Математична обробка результатів експериментального дослідження для встановлення впливу переносної n_{se} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини в залежності від довжини контейнера циліндричної форми на режим руху деталей ($l=0,29$ м, $\alpha_{(l)}=30,0^\circ$, $r=0,06$ м).

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

Варіант	n_{se} , об/хв, x	n_{3r} , об/хв, \bar{y}	x^2	$x \cdot \bar{y}$	\hat{y}	$(\bar{y} - \hat{y})^2$
49	0	129,00	0	0	129,59	0,3481
50	10	120,00	100	1200,0	118,29	2,9138
51	20	102,00	400	2040,0	103,26	1,5775
52	30	84,00	900	2520,0	84,48	0,2294
53	40	63,00	1600	2520,0	61,90	1,0774
54	50	35,50	2500	1775,0	35,71	0,0420
Сума	150	533,50	5500	10055,0	533,29	6,1884
Дисперсія адекватності $S_{ad}^2 = 6,1884$						
Дисперсія відтворення $S_{(y)}^2 = 2,4275$						
Критерій Фішера (розрахунок) – $F_{розр} = 6,1884/2,4275 = 2,55$						
Критерій Фішера для вірогідності 0,95 (таблиця) – $F_{табл} = 3,49$						

$l=0,25$ м – $F_{\text{розр}}=3,10 < F_{\text{табл}}=3,49$; для $l=0,29$ м – $F_{\text{розр}}=2,55 < F_{\text{табл}}=3,49$), а отже, рівняння (2) та (3) є адекватними до результатів отриманих експериментально з вірогідністю 95%.

З рівнянь (1 – 3) та графічних залежностей (рис. 2 – 4) констатуємо той факт, що зміна робочої довжини технологічного контейнера галтувальної машини від $l=0,21$ м до $l=0,29$ м та характер взаємозалежності переносної n_{5c} та відносної n_{3r} частот обертання приводних валів машини розробленої конструкції впливає на умови руху масиву деталей в контейнері та його зміну з каскадного на каскадно – водоспадний режим. Щоб зберегти незмінним змішаний режим руху масиву деталей при їх обробці на розробленій галтувальній машині при умові збільшення довжини робочого контейнера від 0,21 м до 0,29 м необхідно збільшувати переносну та одночасно зменшувати відносну частоту обертання приводних валів машини.

При зупиненому приводному валу, що відповідає за переносний рух ($n_{5c}=0$, об/хв) технологічного контейнера та зміні довжини контейнера від $l=0,21$ м до $l=0,29$ м для забезпечення незміненого каскадно – водоспадного режиму руху масиву деталей необхідно зменшити на 3,8% частоту обертання приводного валу, що відповідає за відносний рух контейнера, а при зупиненому приводному валу, що відповідає за відносний рух кон-

тейнера ($n_{3r}=0$, об/хв) для аналогічних умов зміни довжин ланок та режимів руху деталей необхідно збільшувати на 6,6 % частоту обертання ведучого валу, який відповідає за переносний рух контейнера в порівнянні з аналогічними параметрами, що отримано для довжини контейнера $l=0,21$ м.

Встановлені взаємозалежності частот обертання приводних валів галтувальної машини дозволяє у відповідності до обраного за довжиною контейнера циліндричної форми регулювати інтенсивність руху масиву деталей в радіальному та осьовому напрямках з метою отримання найкращих умов обробки деталей різного асортименту, які застосовуються в виробі легкої промисловості.

Висновки. Виконано експериментальне дослідження взаємного впливу частот обертання приводних валів машини розробленої конструкції, для яких спостерігається зміна режиму руху масиву деталей з каскадного на каскадно – водоспадний в залежності від обраної робочої довжини технологічного контейнера циліндричної форми.

Взаємозалежності частот обертання приводних валів машини дають можливість їх варіювати для обраної довжини технологічного контейнера та отримувати певні за інтенсивністю руху масиву деталей відносно та вздовж геометричної осі контейнера з метою забезпечення найкращих умов для їх обробки.

Список літератури:

1. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019, Vol. 2 (132). P. 24–32. DOI: <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2019.2.2>
2. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Kurovskiy V.Y., Kushchevska N.F., Loboda Yu.S., Malyshev V.V. Experimental investigation of the processing of polymeric details in a machine with a complex movement of working capacity. *6-th International Conference «HighMathTech 2019»*, Session H, 2019, P. 154.
3. Спосіб вологого полірування полімерних деталей: пат. 113266 Україна, МПК В24В 31/10 (2006.01). / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В.; заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201606525; заяв. 15.06.2016, опуб. 25.01.2017, бюл. № 2.
4. Спосіб вологого шліфування полімерних деталей: пат. № 113267 Україна, МПК В24В 31/10 (2006.01). / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В.; заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201606526; заяв. 15.06.2016, опуб. 25.01.2017, бюл. № 2.
5. Jadhav P.S., Jadhav B.R. A study on mixing of composite solids in the three dimensional turbula mixer. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*. 2013, Vol. 2, Issue 3, P. 138-141.
6. Яковенко І.Е., Пермьяков О. А., Фесенко А.В. Технологічні основи машинобудування: навч. посібник. Харків: НТУ «ХП», 2022. 421с.
7. Залюбовський М. Г., Малишев В. В. Машини та обладнання підприємств: навч. посібник. К.: Університет «Україна», 2020. 120 с. DOI: <https://doi.org/10.36994/978-966-388-593-3-2020-121>
8. Сокур М.І., Білецький В.С., Божик Д.П., Сокур І.М. Модель руху матеріалу в проточній частині барабанного млина. *Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. Збірник*. 2017. № 66 (107). С. 28-35.
9. Obadele B.A., Masuku Z.H., Olubambi P.A. Turbula mixing characteristics of carbide powders and its influence on laser processing of stainless steel composite coatings. *Powder Technol.* 2012. №. 230. P. 169 – 182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.07.025>
10. Панасюк І.В., Залюбовський М.Г. Визначення кінематичних параметрів змішувачів з тривимірним обертанням барабану. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2013. № 6. С. 28-33.

11. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія. К.: Університет «Україна», 2018. 228 с. DOI: <https://doi.org/10.36994/978-966-388-575-9-2018-228>

12. Машина для обробки деталей: пат, № 155458 Україна, МПК (2024.01): B01F 31/00, B24B 31/00 (2024 р.) / 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.

13. Машина для обробки деталей: пат, № 160455 Україна, МПК (2025.01): B01F 31/00, B24B 21/00 (2025 р.) / 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.

14. Машина для обробки деталей: пат, № 160695 Україна, МПК (2025.01): B24B 31/00, B01F 31/00 (2025 р.) / 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.

15. Panasyuk I., Zalyubovskiy M. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. P. 260-264.

Koshel O.S., Zalyubovskiy M.G., Koshel S.O., Koshel H.V. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE CONTAINER LENGTH ON THE MOVEMENT OF PARTS IN A MACHINE FOR PROCESSING USING AN EXPERIMENT

Variants of the experimental plan have been developed in order to analyze the simultaneous influence of the transfer and relative angular velocities of the drive shafts of the machine of the new structure and design depending on the length of the working container. The geometric shape of the technological container is a cylinder. The working container in space has a complex motion, therefore its trajectory affects the mode of motion of the parts in its middle. For a number of different working lengths of the working container of the tumbling machine, a study was carried out using the conducted. The purpose of the experiment was to determine the simultaneous influence of the transfer and relative angular velocities of the drive shafts of the machine of the new design on the change in the nature of the movement of parts in the container from cascade to cascade-waterfall. The results of the experiment were processed using mathematical analysis methods. According to the results of the processing, the simultaneous influence of the transfer and relative angular velocities of the machine's drive shafts and the length of the working cylindrical technological container on the appearance of a mixed nature of the movement of parts in the container, which is called the cascade-waterfall movement of the working set of parts, was established. The mathematical equations that were obtained allow us to analyze the simultaneous influence of the angular velocities of the drive shafts of the machine of the new structure in order to implement the cascade-waterfall movement of the working set of parts in the working container of the rolling machine. The analysis of such a process makes it possible to choose the necessary motion mode for a set of parts of a different assortment in order to effectively perform their processing. The adequacy of the obtained mathematical equations was checked. The experiment conducted allowed us to obtain confirmation that the use of a new design of a tumbling machine allows the use of cylindrical working containers of various lengths without loss of machine performance. If you change the angular velocities of the drive shafts of a machine of a new structure and design, you can select their values in such a way that they correspond to each other that a certain movement of a set of parts will appear in the working container of the length necessary for performing the technological operation. After analyzing the results of the experiment, it was found that changing the length of the working container of the tumbling machine from a smaller value to a larger one led to the need to increase the angular speed of rotation of the drive shaft, which is responsible for the translational movement of the container, and simultaneously reduce the angular speed of rotation of another drive shaft, which gives it a relative rotational movement, so that the movement of the set of parts in the container had a transition from a cascade to a cascade-waterfall character.

Keywords: mechanism, tumbling machine, spatial motion, light industry parts, parts processing, processing machine, experimental study, mathematical analysis methods, mathematical methods for results processing, mathematical model, Fisher's criterion.

Дата першого надходження статті до видання: 03.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.01.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.04.2026