

**ЗАЛЮБОВСЬКИЙ Марк**

Київський національний університет технологій та дизайну,  
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»  
ORCID ID: 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  
e-mail: [panasyuk1961@gmail.com](mailto:panasyuk1961@gmail.com)

## РОЗРОБКА ВИСОКОПРОДУКТИВНОЇ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ ДВОХ РОБОЧИХ ЄМКОСТЕЙ

Запропоновано нову конструкцію галтувальної машини, яка оснащена двома робочими ємкостями, які виконують складний просторовий рух. Достеменно описано будову та принцип роботи розробленої конструкції машини. Розроблена конструкція машини з двома ємкостями, які виконують складний просторовий рух, дозволяє значно підвищити продуктивність обробки деталей за рахунок того, що виникає можливість на одній машині одночасно виконувати дві різні галтувальні технологічні операції або одночасно обробляти дві партії різних деталей. Конструкція машини, під час експлуатації, дозволяє задіяти у робочий процес, як обидві робочі ємкості, так і одну. Оснащення машини спеціальною конструкцією приводу із чотирма шарнірами Гука дозволяє на кожному ведучому валу машини відтворити необхідний закон зміни кутової швидкості, реалізація якого створить умови, які забезпечуватимуть однаково інтенсивність руху робочого масиву між протилежними торцями ємкості у зустрічних напрямках та постійний режим руху сипкого середовища упродовж усього технологічного процесу, а також рівномірне динамічне навантаження усіх рухомих ланок. Виконані аналітичні дослідження, в межах яких визначено деякі геометричні параметри конструкції машини, зокрема, встановлено значення кута  $\alpha$  між осями валів кожного шарніру Гука, яке буде забезпечувати реалізацію необхідного закону кутової швидкості на ведучому валу машини. Встановлено взаємозв'язок між екстремальними значеннями закону зміни кутової швидкості ведучих валів машини та величиною кутів у кожному шарнірі Гука. 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: шарнір Гука, галтування, робоча ємкість, закон зміни кутової швидкості.

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

## DEVELOPMENT OF A HIGH-PERFORMANCE HOLDING MACHINE WITH COMPLEX SPATIAL MOVEMENT OF TWO WORKING CAPACITIES

A new design of the galvanizing machine is proposed, which is equipped with two working tanks that perform complex spatial movement. The structure and principle of operation of the developed design of the machine are accurately described. The developed design of the machine with two capacities that perform complex spatial movement allows to increase considerably productivity of processing of details due to the fact that there is a possibility to carry out two different thawing technological operations on one machine or to process two parties of different details at the same time. The design of the machine, during operation, allows to involve in working process, both two working capacities, and one. Equipping the machine with a special drive design with four Hook hinges allows to reproduce the required law of change of angular velocity on each driving shaft of the machine, the implementation of which will create conditions that will ensure the same intensity of the working array between opposite ends of the tank in opposite directions. process, as well as uniform dynamic loading of all moving parts. Analytical studies were performed, within which some geometrical parameters of the machine design were determined, in particular, the value of the angle  $\alpha$  between the axes of the shafts of each Hook hinge was established, which will ensure the implementation of the required angular velocity law on the machine drive shaft. The relationship between the extreme values of the law of change of the angular velocity of the driving shafts of the machine and the magnitude of the angles in each Hook hinge is established. The obtained results of analytical research can be used in the relevant design offices of machine-building enterprises at the stage of designing galvanizing equipment with complex spatial movement of working tanks.

Key words: Hook hinge, galting, working capacity, law of change of angular velocity.

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогоднішній день, у різних галузях промисловості (машинобудування, легка промисловість тощо), поширена реалізація галтувальних технологічних операцій [1] (відділення деталей від ливників [2, 3], покращення якості поверхні виробів [4], подрібнення, очищення металевих деталей від утворення продуктів корозії тощо) із застосуванням спеціального обладнання, яке оснащено ємкостями з їх різним характером руху.

Деякі типи такого обладнання, такі як машини з обертальним рухом робочих ємкостей [5], а також вібраційні машини [6], є застарілими типами обладнання та характеризуються досить низькою продуктивністю.

Низкою попередніх досліджень [7] було встановлено, що значного збільшення продуктивності

виконання галтувальних технологічних операцій та одночасного зменшення енерговитрат можна досягнути при використанні машин, у яких робочі ємкості виконують складний просторовий рух. При такому способі обробки, робочий масив рухається значно інтенсивніше, під час переміщення отримує усі ступені свободи.

Однак, у більшість відомих конструкцій галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей оснащени однією робочою ємкістю. У зв'язку з тим, що такі конструкції машин оснащені лише однією робочою ємкістю, виключається можливість одночасної обробки декількох різних партій деталей, які не дозволяється змішувати між собою, унеможливується одночасне виконання двох різних галтувальних технологічних операцій, наприклад – відділення деталей від ливників та паралельне шліфування поверхні виробів. В цілому, машина не здатна забезпечити високу продуктивність під час виконання галтувальних технологічних операцій.

### Аналіз досліджень та публікацій

Відомий ряд досліджень щодо інтенсифікації галтувальних технологічних процесів із використанням обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. Зокрема, досліджувалися процеси відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників [2, 7, 8]. Результати досліджень показали, що при використанні обладнання зі складним рухом робочих ємкостей можна досягнути збільшення продуктивності у більш ніж 10 разів. Також досліджували процеси покращення якості поверхні (шліфування та полірування) [4, 9], що також показали позитивні результати.

Відоме [10, 11] успішне застосування даного обладнання для реалізації технологічних процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин.

Попередньо, авторами були розроблені різні конструкції галтувальних машин з відмінними експлуатаційними властивостями. Таким чином, було синтезовано просторові механізми машин без наявності пасивних зв'язків у їх кінематичних ланцюгах – це машини з додатковими рухомими ланками повзуном [12] шатуном [13] та коромислом [14]. При експлуатації таких машин значно зменшується вірогідність виникнення деформацій ланок та раптового заклинювання просторового механізму, значно збільшується безвідмовний термін експлуатації обладнання.

Відомі конструкції машин з двома рухомо з'єднаними між собою робочими ємкостями із використанням поступальної [15] та обертальної кінематичних пар. Однак, у процесі експлуатації, відсутня можливість вимкнути із роботи одну із ємкостей, під час роботи машини завжди задіяні дві робочі ємкості.

### Виділення невирішених частин

Приймаючи до уваги попередні дослідження, можна зробити висновок, що до теперішнього часу залишається певна кількість невирішених питань. Зокрема, відсутня високопродуктивна конструкція машини з двома робочими ємкостями, які, під час експлуатації, можна вмикати, як разом, так і окремо.

### Формулювання цілей

Суть даної роботи полягає у синтезі просторового механізму та подальшої розробки високопродуктивної галтувальної машини зі складним просторовим рухом двох робочих ємкостей з можливістю їх спільного та окремого застосування під час реалізації галтувальних технологічних процесів.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо «базову» конструкцію машини [16] зі складним просторовим рухом робочої ємкості у кінематичному ланцюзі якої наявним є пасивний зв'язок. Кінематична схема просторового механізму машини представлена на рис. 1. а, модель машини – на рис. 1. б,

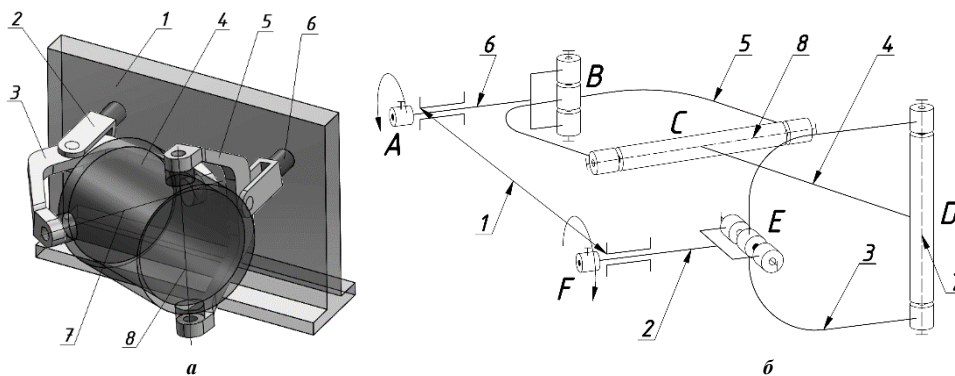


Рис. 1. «Базова» конструкція машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості у кінематичному ланцюзі якої наявним є пасивний зв'язок: а – кінематична схема, б – модель машини

Машина містить станину 1, вали – ведучий 2 та ведений 6, котрі встановлені в станині паралельно в одній площині та з'єднані між собою подвійним просторовим шарніром, що виконаний у вигляді ведучої вилки 3, веденої вилки 5 та проміжної ланки 4 (робочої ємкості), закріпленої між вилками на діаметрально взаємно перпендикулярних геометричних осях 7 та 8 відповідно. Рухомі ланки машини утворюють собою

просторовий шестиланковий механізм з обертальними кінематичними парами, ланка 4 виконує складний просторовий рух.

Однак, експериментальні дослідження руху сипкого масиву в середині такої ємкості, які були проведені в межах роботи [17], показали, що технологічне середовище, за рахунок різкого прискорення частини робочої ємкості, яка з'єднана з веденою вилкою, буде переміщатися з різною інтенсивністю між її торцями в протилежних напрямках фактично при будь-якій постійній кутовій швидкості ведучого валу з представленого вище діапазону. Таким чином, одночасно проявляються два режими руху технологічного середовища – каскадний та водоспадний. Такий режим обробки придатний не для всіх галтувальних технологічних операцій. Більшість галтувальних технологічних операцій рекомендовано виконувати при одному режиму руху технологічного середовища. Наприклад, шліфування та полірування – при каскадному режимі, відділення деталей від ливників – лише при водоспадному режимі. Необхідним є розробка такої конструкції приводу, яка б змогла забезпечити просторове переміщення протилежних торців ємкості з однаковою інтенсивністю.

У той само час, у роботі [17] було отримано необхідний закон зміни кутової швидкості ведучого валу (1) такої машини, відтворення якого створить умови, які забезпечуватимуть однакову інтенсивність руху робочого масиву між протилежними торцями ємкості у зустрічних напрямках та постійний режим руху сипкого середовища упродовж усього технологічного процесу. Відбуватиметься такий ефект за рахунок досягнення реалізації циклічної зміни кутових швидкостей ведучого та веденого валів машини таким чином, щоб їх екстремуми знаходилися у протифазі з однаковим амплітудним значенням.

$$\omega_{ведуч} = \omega_{серед} - \omega_{ампл} \sin\left(2\varphi + \frac{\pi}{2}\right), \quad (1)$$

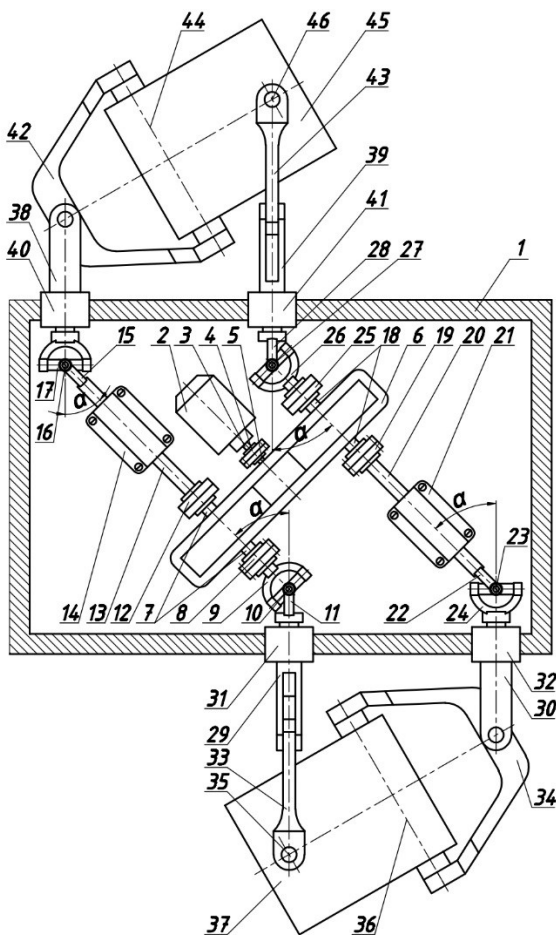


Рис. 2. Розроблена конструкція галтувальної машини – вид зверху

На основі вищесказаного, було розроблено конструкцію галтувальної машини з двома робочими ємкостями та спеціальною конструкцією приводу, яка дозволяє реалізувати попередньо отриманий [17] закон зміни кутової швидкості на ведучому валу машини. Розроблена конструкція машини представлена на рис. 2.

Розроблена машина містить станину 1, в якій розміщений електродвигун 2, вал 3 якого за допомогою глухої муфти 4 жорстко з'єднаний з швидкохідним валом 5 двопоточного редуктора 6. Перший тихохідний вал 7 двопоточного редуктора 6 одним кінцем, за допомогою глухої муфти 8, жорстко з'єднаний з першим шарніром Гука, що включає ведучу вилку 9, хрестовину 10, яка кінематично з'єднана з ведучою 9 та веденою 11 вилками першого шарніру Гука. Іншим кінцем перший тихохідний вал 7 двопоточного редуктора 6, за допомогою першої зчпної муфти 12, з'єднаний з другим проміжним валом 13, який встановлений у підшипниковій опорі 14 та виконаний заодно з третім шарніром Гука, що включає ведучу вилку 15, хрестовину 16, яка кінематично з'єднана з ведучою 15 та веденою 17 вилками третього шарніру Гука. Другий тихохідний вал 18 двопоточного редуктора 6 одним кінцем, за допомогою глухої муфти 19, жорстко з'єднаний з першим проміжним валом 20, що встановлений у підшипниковій опорі 21 та виконаний заодно з другим шарніром Гука, що включає ведучу вилку 22, хрестовину 23, яка кінематично з'єднана з ведучою 22 та веденою 24 вилками другого шарніру Гука. Іншим кінцем другий тихохідний вал 18 двопоточного редуктора 6, за допомогою другої зчпної муфти 25, з'єднаний з четвертим шарніром Гука, що включає ведучу вилку

26, хрестовину 27, яка кінематично з'єднана з ведучою 26 та веденою 28 вилками четвертого шарніру Гука. Ведена вилка 11 закріплена на першому ведучому валу 29, а ведена вилка 24 закріплена на другому ведучому валу 30. Ведучі вали 29 та 30 встановлені в підшипникових опорах 31 та 32 відповідно, а також з'єднані з подвійним просторовим шарніром, виконаним у вигляді двох вилок 33 та 34, діаметрально взаємно перпендикулярні вісі яких 35 та 36 є осями кріплення першої робочої ємкості 37. У свою чергу, ведена вилка 17 закріплена на третьому ведучому валу 38, а ведена вилка 28 закріплена на четвертому ведучому валу 39. Ведучі вали 38 та 39 встановлені в підшипникових опорах 40 та 41 відповідно, а також з'єднані з подвійним просторовим шарніром, виконаним у вигляді двох вилок 42 та 43, діаметрально взаємно перпендикулярні вісі яких 44 та 45 є осями кріплення першої робочої ємкості 46.

Використання двопоточного редуктора дає можливість передавати крутний момент одночасно на чотири ведучі вали та забезпечує однаковий розподіл потужності електродвигуна та крутного моменту між двома його тихохідними валами. Застосування двох зчпнних муфт дає можливість, за необхідності, як вмикати в роботу, так і вимикати другу робочу ємкість, роз'єднуючи зв'язок між тихохідними валами двопоточного редуктора та другим проміжним валом й четвертим шарніром Гука. Оснащення приводу машини чотирма шарнірами Гука дозволяє усі рухомі ланки машини практично однаково динамічно навантажити, зменшити ймовірність виникнення їх деформацій та знизити концентрації нерівномірних навантажень в окремих місцях, що забезпечить підвищення довговічності роботи машини.

Машина для обробки деталей може працювати в двох режимах: А та Б.

У режимі А зчпні муфти 12 та 25 зчеплені, експлуатуються обидві робочі ємкості – перша 37 та друга 46. При увімкненні електродвигуна 2, розташованого в станині 1, постійний обертальний рух від його валу 3 через глуху муфту 4 передається на швидкохідний вал 5 двопоточного редуктора 6. За допомогою двопоточного редуктора 6, постійний обертальний рух від швидкохідного валу 5 розподіляється між його двома тихохідними валами 7 та 18. Постійний обертальний рух від першого тихохідного валу 7 двопоточного редуктора 6 через глуху муфту 8 передається на ведучу вилку 9 першого шарніра Гука, а через зчпну муфту 12 та другий проміжний вал 13 – на ведучу вилку 15 третього шарніру Гука. Постійний обертальний рух від другого тихохідного валу 18 двопоточного редуктора 6 через глуху муфту 19 передається на перший проміжний вал 20 та ведучу вилку 22 другого шарніра Гука, а через зчпну муфту 25 – на ведучу вилку 26 четвертого шарніра Гука. Далі, постійний обертальний рух ведучих вилок 9, 15, 22 та 26 за допомогою чотирьох шарнірів Гука перетворюється в рівнозмісний зміщений на півперіоду між собою обертальний рух ведених вилок 11, 17, 24 та 28. Таким чином, рівнозмісний зміщений на півперіоду між собою обертальний рух ведених вилок 11, 17, 24 та 28, які жорстко з'єднані з ведучими валами 29, 30, 38 та 38, відповідно, що також встановлені у підшипникових опорах 31, 32, 40 та 41, відповідно, передається на вилки 33, 34, 42 та 43 двох подвійних просторових шарнірів, відповідно. В свою чергу, вилки 33 та 35 через осі 35 та 36 обертають першу робочу ємкість 37, а вилки 42 та 43 через осі 44 та 45 обертають другу робочу ємкість 46, надаючи їм складного просторового переміщення у трьох взаємно перпендикулярних площинах з одночасним обертанням навколо власних повздовжніх осей.

У режимі Б зчпні муфти 12 та 25 роз'єднані, крутний момент від приводу машини не передається до другої робочої ємкості 46, третій та четвертий шарніри Гука, другий проміжний вал 13, ведучі вали 38 та 39, а також вилки 42 та 43 залишаються нерухомими. Таким чином, функціонує лише частина машини, зокрема, перша робоча ємкість 37. Крутний момент від приводу машини до першої робочої ємкості 37 передається аналогічно, як і при роботі машини у режимі А.

Для того, щоб відтворити необхідний закон зміни кутової швидкості на ведучому валу машини необхідно встановити значення кута  $\alpha$ , що буде утворюватися між осями усіх шарнірів Гука (між осями тихохідних валів двопоточного редуктора та осями ведучих валів привода). Опіралися на рівняння (2) та (3), які описують в цілому роботу шарніру Гука та отримані у роботі [18]:

$$\frac{\omega_2^{\max}}{\omega_1} = \frac{1}{\cos \alpha}; \quad (2)$$

$$\frac{\omega_2^{\min}}{\omega_1} = \cos \alpha, \quad (3)$$

де  $\omega_1$  – постійна кутова швидкість ведучої вилки кожного шарніра Гука;  $\omega_2^{\max}$ ,  $\omega_2^{\min}$  – максимальне та мінімальне значення закону зміни кутової швидкості веденої вилки кожного шарніра Гука, відповідно. Оскільки кожна ведена вилка шарніра Гука виконана заодно з кожним ведучим валом машини, то:

$$\omega_2^{\max} = \omega_{\text{ведуч}}^{\max}; \quad (4)$$

$$\omega_2^{\min} = \omega_{\text{ведуч}}^{\min}. \quad (5)$$

З рівнянь (2) та (3) виразимо значення  $\omega_1$  та об'єднаємо їх в одне рівняння, при цьому, враховували рівності (4) та (5):

$$\omega_{\text{ведуч}}^{\max} \cos \alpha = \omega_1 = \frac{\omega_{\text{ведуч}}^{\min}}{\cos \alpha}. \quad (6)$$

Приведемо рівняння (6) до наступного вигляду:

$$\cos^2 \alpha = \frac{\omega_{\text{ведуч}}^{\min}}{\omega_{\text{ведуч}}^{\max}}. \quad (7)$$

Із рівняння (7) виражали максимальне та мінімальне значення закону зміни кутової швидкості ведучих валів через їх середнє значення:

$$\cos^2 \alpha = \frac{2\omega_{\text{сєр}}}{4\omega_{\text{сєр}}}. \quad (8)$$

Після відповідних арифметичних скорочень вираз (8) отримав вигляд:

$$\cos^2 \alpha = 0,5. \quad (9)$$

Для лівої частини рівняння (9) використаємо формулу для пониження ступеня тригонометричної функції:

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}. \quad (10)$$

Рівняння (9) з урахуванням виразу (10) матиме вигляд:

$$\frac{1 + \cos 2\alpha}{2} = 0,5. \quad (11)$$

Після відповідних перетворень, вираз (11) отримав вигляд:

$$\cos 2\alpha = 0. \quad (12)$$

З рівняння (12) виражали значення кута  $\alpha$ :

$$\alpha = 0,5 \cdot \arccos 0 = 45^\circ. \quad (13)$$

Таким чином, встановлено, що значення кута  $\alpha$  між осями валів шарнірів Гука, яке буде забезпечувати реалізацію закону кутової швидкості (1) на ведучому валу машини повинно становити  $45^\circ$ .

Таким чином, у зв'язку з тим, що ведучі вали 29, 30, 38 та 38 виконують рівнозмінний зміщений на півперіоду між собою обертальний рух, інтенсивність переміщення сипкого робочого середовища між протилежними торцями робочих ємкостей 37 та 46 в обох напрямках буде однаковою.

У свою чергу, максимальні екстремальні значення законів зміни кутових швидкостей на ведених вилках 11, 17, 24 та 28 шарнірів Гука, мають відповідати таким положенням вилок 33, 34, 42 та 43, при яких їх осі 35, 36, 44 та 45, відповідно, будуть розташовані паралельно до вертикальної площини, а мінімальні екстремальні значення законів зміни кутових швидкостей на ведених вилках 11, 17, 24 та 28 шарнірів Гука, мають відповідати таким положенням вилок 33, 34, 42 та 43, при яких їх осі 35, 36, 44 та 45, відповідно, будуть розташовані паралельно до горизонтальної площини.

Використання запропонованої конструкції машини для обробки деталей дозволяє: розширити сферу використання машини для обробки деталей; значно підвищити продуктивність обробки деталей за рахунок того, що виникає можливість на одній машині одночасно виконувати дві різні технологічні операції або одночасно обробляти дві партії різних деталей; збільшити довговічність машини за рахунок зниження концентрації нерівномірних навантажень в опорах валів, кінематичних парах та рухомих ланках машини, зменшити ймовірність виникнення деформацій ланок; забезпечити всі необхідні умови для реалізації якісних галтувальних технологічних операцій чи змішування сипких дрібнодисперсних речовин, досягнути однакової інтенсивності переміщення сипкого робочого середовища в середині обох робочих ємкостей між її протилежними торцями.

### 1. Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

2. Розроблено конструкцію високопродуктивної галтувальної машини зі складним просторовим рухом двох робочих ємкостей з можливістю їх спільного та окремого застосування для реалізації галтувальних технологічних процесів.

3. Розроблена конструкція машини з двома ємкостями дозволяє значно підвищити продуктивність обробки деталей за рахунок того, що виникає можливість на одній машині одночасно виконувати дві різні технологічні операції або одночасно обробляти дві партії різних деталей. Конструкція машини, під час експлуатації, дозволяє задіяти у робочий процес, як дві робочі ємкості, так і одну.

4. Аналітичним шляхом виконані дослідження деяких геометричних параметрів конструкції машини, зокрема, встановлено значення кута  $\alpha$  між осями валів кожного шарніру Гука, яке буде забезпечувати реалізацію необхідного закону кутової швидкості на ведучому валу машини.

### Література

1. Залюбовський М.Г. Перспективні галтувальні та змішувальні технологічні процеси у машині типу «Turbula» / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки – 2021. – № 3, том 32 (71). – С. 6–11.

2. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу геометрії металевих відливок деталей замка «блискавка» на особливості їх обробки в галтувальній машині / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2020. – №2 (144). – С. 24–32.

3. Залюбовський М.Г. Експериментальне визначення енергії необхідної для відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2019. – №5 (138). – С. 17–26.

4. 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.

5. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ : учебное пособие для рабочего образования. М. : Химия, 1987. 176 с.

6. Шумакова Т. А. Инструмент для виброобразивной обработки деталей : монография / Т. А. Шумакова, В. И. Шаповалов, Ю. И. Гутько ; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. – Луганск : Ноулидж, 2011. – 59 с.
7. 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. – Хмельницький, 2007. – 255 с.
8. 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.
9. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O, Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. – 2019. – Vol. 3 (134). – P. 9–17.
10. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, A. Ingram, E. H. Stitt // Powder Technology 212 (2011), p. 17–24.
11. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation – The University of Birmingham, UK, 2012. 316 p.
12. 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, issue 1, April 2020, 54–64.
13. 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.
14. 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.
15. 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, issue 6, November 2020, 762–772.
16. Willy A. Bachofen (WAB). Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. 2022. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (22.02.2022).
17. 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.
18. Артоболевский И.И. Теория машин и механизмов / Артоболевский И.И. – М. : Наука, 1988. – 640 с.

#### References

1. Zaliubovskiy M.H. Perspektivni haltuvalni ta zmishuvalni tekhnolohichni protsesy u mashyni typu «Turbula» / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky – 2021. – № 3, tom 32 (71). – S. 6–11.
2. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu heometrii metalevykh vidlyvok detalei zamka «blyskavka» na osoblyvosti yikh obrobky v haltuvalnii mashyni / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – №2 (144). – S. 24–32.
3. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne vyznachennia enerhii neobkhdnoi dlia viddilennia metalevykh detalei vid lynykyv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2019. – №5 (138). – S. 17–26.
4. 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.
5. Shvarc A.I. Mehanizatsiya i avtomatyzatsiya proizvodstva formovykh RTI : uchebnoe posobie dlya rabocheho obrazovaniya. M. : Himiya, 1987. 176 s.
6. Shumakova T. A. Instrument dlya vibroabrazivnoy obrabotki detalei : monografiya / T. A. Shumakova, V. I. Shapovalov, Yu. I. Gutko ; Vostochnoukr. nac. un-t im. V. Dallya. – Lugansk : Noulidzh, 2011. – 59 s.
7. 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. – Khmelnytskyi, 2007. – 255 s.
8. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta ob'emu zapovnennia yemkosti na intensyvnist viddilennia metalevykh detalei vid lynykyv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – № 1 (142). – S. 27–38.
9. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O, Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. – 2019. – Vol. 3 (134). – P. 9–17.
10. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, A. Ingram, E. H. Stitt // Powder Technology 212 (2011), p. 17–24.
11. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation – The University of Birmingham, UK, 2012. 316 p.
12. 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, issue 1, April 2020, 54–64.

13. 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.
14. Zalyubovskiy M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel, G.V. Koshel// *International Applied Mechanics*, 57, No. 4, July 2021, 466–476.
15. 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, issue 6, November 2020, 762–772.
16. Willy A. Bachofen (WAB). Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. 2022. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (22.02.2022).
17. 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.
18. Artobolevskiy Y.Y. Teoriya mashyn y mekhanyzmov / Artobolevskiy Y.Y. – M. : Nauka, 1988. – 640 s.

Надійшла/Paper received : 25.09.2022 р.    Надрукована/Printed :01.11.2022 р.