

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.2.2>

УДК 621.924.7

<sup>1</sup>ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., <sup>2</sup>СКІДАН В.В.

<sup>1</sup> Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ, Україна

<sup>2</sup> Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## КІНЕТОСТАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ШАРНІРНИХ ПРОСТОРОВИХ МЕХАНІЗМІВ ГАЛТУВАЛЬНИХ МАШИН (ЧАСТИНА 2: ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ МАШИНИ З ДВОМА РОБОЧИМИ ЄМКОСТЯМИ, ЩО З'ЄДНАНІ ПОСТУПАЛЬНОЮ КІНЕМАТИЧНОЮ ПАРОЮ)

**Мета.** Кінетостатичне дослідження статично визначеного шарнірного просторового механізму без надлишкового (пасивного) зв'язку галтувальної машини з двома робочими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою.

**Методика.** На основі кінетостатичного дослідження визначали радіальні та осьові складові реакцій в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах шарнірного статично визначеного просторового механізму машини для обробки деталей з двома робочими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою, при її роботі на холостому ході. Дослідження виконувалося із використанням системи автоматизованого проектування SolidWorks, де було виконано 3D модель галтувальної машини з двома робочими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою.

**Результати.** Виконано 3D моделювання галтувальної машини з двома робочими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою у системі автоматизованого проектування SolidWorks, визначені максимальні значення радіальних та осьових складових реакцій в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах машини, а також досліджено вплив зміни сумарної міжосьової відстані двох робочих ємкостей на приріст максимальних значень реакцій в кінематичних парах просторового механізму машини.

**Наукова новизна.** Вперше встановлено взаємозв'язок між сумарною міжосьовою відстанню двох робочих ємкостей та зміною максимальних значень реакцій в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах галтувальної машини. Визначено допустимий діапазон варіювання сумарною міжосьовою відстанню двох робочих ємкостей, що створює умови для довговічної роботи машини.

**Практична значимість.** Встановлено, що зміна максимальних значень радіальних та осьових складових реакцій в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах просторового механізму галтувальної машини залежить від сумарної міжосьової відстані двох робочих ємкостей машини. Отримані результати досліджень можуть стати у нагоді при проектуванні галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

**Ключові слова:** міжосьова відстань; галтувальна машина; робоча ємкість.

**Вступ.** Машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей застосовуються для реалізації технологічних процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин [1], а також галтувальних технологічних операцій [2, 3]. До галтувальних технологічних операцій слід віднести технологічні процеси покращення якості оброблюваної поверхні [4, 5], відділення та сепарація відлитих деталей від ливників [6, 7], подрібнення, помол, заокруглення гострих кромки та країв на поверхні виробів тощо. На відміну від галтувальних машин з обертальним рухом робочих ємкостей [8], а також вібраційних машини [9], у галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [10], сипке середовище у середині ємкості переміщується зі значно більшою інтенсивністю, при цьому отримує усі ступені свободи, активно контактує з іншими компонентами сипкого середовища та внутрішніми стінками робочої ємкості, що, в цілому, призводить до значного підвищення продуктивності [11] виконання фінішних галтувальних технологічних операцій, зменшенню енерговитрат. Таким

чином, достеменно різнобічне дослідження галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей є актуальною задачею на сьогоднішній день.

**Постановка завдання.** Відомі різні, розроблені авторами, конструкції галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [12, 13] з відмінними конструктивними властивостями та технологічним призначенням, у кінематичних ланцюгах яких виключено вплив надлишкового (пасивного) зв'язку [14]. Однією з таких конструкцій є машина [15], у якій застосовуються дві робочі ємкості, які за допомогою поступальної кінематичної пари рухомо з'єднані між собою. Використання такої конструкції галтувальної машини 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. Дана конструкція утворює собою семиланковий шарнірний просторовий механізм для якого важливим аспектом є виконання кінетостатичного дослідження, в основі якого є визначення впливу зміни сумарної міжосьової відстані двох робочих ємкостей на максимальні значення реакцій у всіх обертальних та поступальній кінематичних парах машини, а також отриманню допустимого діапазону варіювання сумарної міжосьової відстані двох робочих ємкостей, що створить умови для довговічної роботи машини.

**Результати дослідження.** Попередньо було розроблено конструкцію галтувальної машини з двома робочими ємкостями, які з'єднані між собою поступальною кінематичною парою. Модель конструкції машини з двома робочими ємкостями, яка виконана у САПР solidWorks, представлена на рис. 1.

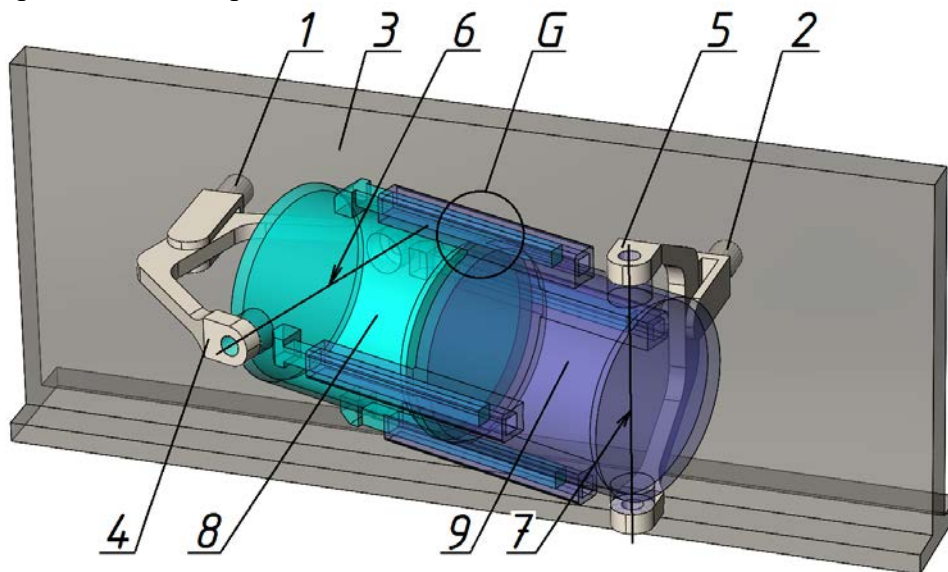


Рис. 1. Модель галтувальної машини з двома робочими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою

Машина містить ведучий 1 та ведений 2 вали, які встановлені у станині 3 паралельно в одній площині. Ведучий 1 та ведений 2 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучим шатуном 4 та веденим шатуном 5 відповідно, діаметрально взаємо перпендикулярні вісі яких 6 і 7 є вісями кріплення робочих ємкостей 8 та 9 відповідно. Робочі ємкості 8 та 9 з'єднані між собою за допомогою поступальної кінематичної пари G.

Під час моделювання описаної конструкції галтувальної машини у САПР SolidWorks основні геометричні та конструктивні параметри приймали аналогічними до параметрів промислового змішувача «Turbula T10B» («базова» конструкція машини). Геометричні та конструктивні параметри змодельованої конструкції машини представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Геометричні та конструктивні параметри змодельованої конструкції машини

Геометричний параметр машини	Значення коефіцієнту $\Delta$		
	1,2	1,4	1,6
Діаметр робочих ємкостей $d_{PC}$	0,318 м		
Загальна міжосьова відстань $l_{PC.ЗАГ.}$	0,328 м	0,382 м	0,434 м
Міжосьова відстань ведучого та веденого шатунів $l_{Ш(В)}$	0,272 м		
Маса усіх рухомих деталей машини $m_D$	83 кг	90 кг	95,5 кг
Кутова швидкість ведучого валу машини $\omega_{ведч.}$	3,2 с <sup>-1</sup> (31 об/хв)		

Використання двох робочих ємкостей (шатунів) у кінематичному ланцюзі машини, які з'єднані між собою поступальною кінематичною парою, дає можливість варіювати їх загальною міжосьовою відстанню  $l_{PC.ЗАГ.}$ . Для раціонального розрахунку загальної міжосьової відстані  $l_{PC.ЗАГ.}$  можна записати рівняння:

$$l_{PC.ЗАГ.} = 2l_{Ц} + l_T, \quad (1)$$

де  $l_T$  – технологічний зазор між найближче розташованими торцями ємкостей;

$l_{Ц}$  – довжини робочих ємкостей від осі з'єднання з ведучим чи веденим шатуном до протилежного торця ємкості.

Досліджували, як зміна  $l_{PC.ЗАГ.}$  впливає на максимальні значення реакцій в усіх кінематичних парах машини, а також при якому значенні загальної міжосьової відстані  $l_{PC.ЗАГ.}$  реакції у кінематичних парах машини будуть перевищувати попередньо визначені у роботі [16] максимальні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини. Кінетостатичне дослідження виконувалося із застосуванням САПР SolidWorks. Схематичне зображення векторів реакцій в усіх кінематичних парах просторового шарнірного механізму галтувальної конструкції машини з двома робочими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою, представлено на рис. 2.

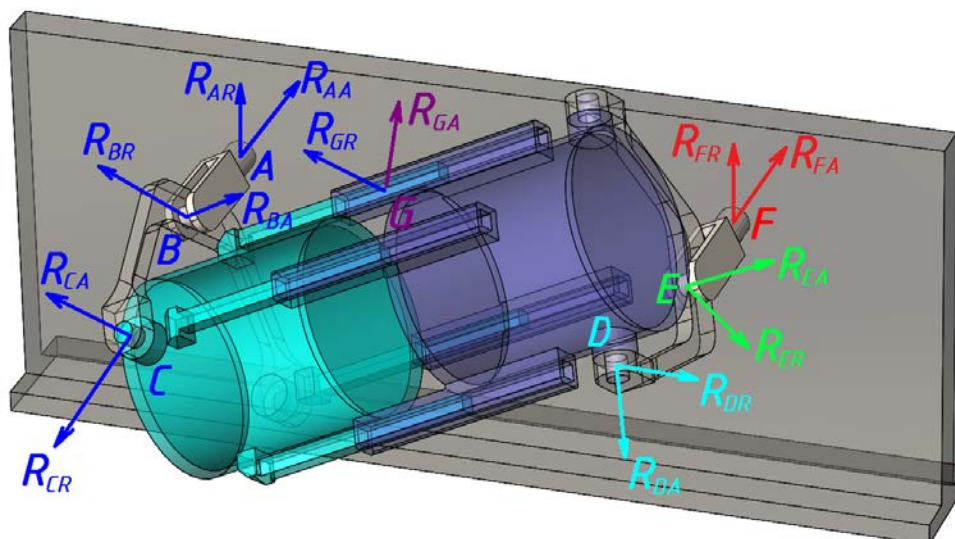


Рис. 2. Розрахункова схема реакцій у кінематичних парах просторового механізму машини з двома робочими ємкостями

Загальну міжосьову відстань  $l_{PC.ЗАГ.}$  поступово збільшували та спостерігали за зміною реакцій у кінематичних парах машини, для кожної реакції визначали її екстремальні значення. Загальна міжосьова відстань  $l_{PC.ЗАГ.}$  була виражена коефіцієнтом  $\Delta$ , який раніше був

запропонований у роботі [10] та характеризує відношення загальної міжосьової відстані робочих емкостей до міжосьової відстані ведучого чи веденого шатуну машини:  $l_{PC.ZAG} / l_{ш(В)}$ .

Усі кінетостатичні дослідження виконувалися на холостому ході при кутовій швидкості ведучого валу  $3,2 \text{ c}^{-1}$ . При такій кутовій швидкості ведучого валу машини буде реалізуватися найбільш інтенсивний режим руху сипкого робочого середовища у середині обох емкостей, виникатимуть найбільші інерційні навантаження на усі рухомі ланки та кінематичні пари машини. Порівняльні дослідження галтувальної машини з двома робочими емкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою проводили лише на холостому ході у зв'язку з тим, що результати силового дослідження «базової» конструкції машини, які представлені у роботі [16] показали, що усі значення реакцій у кінематичних парах машини, при її роботі на робочому ході, були пропорційно збільшені на однакову величину по відношенню до значень реакцій у кінематичних парах машини при роботі її на холостому ході.

Визначали максимальні значення реакцій  $R$  в усіх обертальних кінематичних парах  $A, B, C, D, E, F$  та поступальній кінематичній парі  $G$ . Значення реакцій були розподілені на дві складові: радіальну та осьову, де:  $R_{AA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «станина – ведучий вал»;  $R_{AR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «станина – ведучий вал»;  $R_{BA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведучий вал – ведучий шатун»;  $R_{BR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведучий вал – ведучий шатун»;  $R_{CA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведучий шатун – перша робоча емкість»;  $R_{CR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведучий шатун – перша робоча емкість»;  $R_{DA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «друга робоча емкість – ведений шатун»;  $R_{DR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «друга робоча емкість – ведений шатун»;  $R_{EA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведений шатун – ведений вал»;  $R_{ER}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведений шатун – ведений вал»;  $R_{FA}$  – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведений вал – станина»;  $R_{FR}$  – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведений вал – станина»;  $R_{GA}, R_{GR}$  – складові реакцій у поступальній кінематичній парі «перша робоча емкість – друга робоча емкість».

У табл. 2 представлено визначені максимальні значення реакцій у зазначених вище кінематичних парах машини в залежності від зміни коефіцієнту  $\Delta$ , а також значення реакцій у відповідних кінематичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини, що відповідає коефіцієнту  $\Delta = 1$ .

Таблиця 2.

**Максимальні значення реакцій у кінематичних парах машини при різних значеннях коефіцієнту  $\Delta$**

		Коефіцієнт $\Delta$			
		1,0	1,2	1,4	1,6
Значення реакцій в кінематичних парах машини	$R_{AA}$ , [Н]	88	151	277	485
	$R_{FA}$ , [Н]	68	150	280	499
	$R_{AR}$ , [Н]	405	450	512	900
	$R_{FR}$ , [Н]	608	418	753	1699
	$R_{BA}$ , [Н]	198	101	105	158
	$R_{EA}$ , [Н]	124	142	210	371
	$R_{BR}$ , [Н]	294	380	455	873
	$R_{ER}$ , [Н]	545	422	780	1760
	$R_{CA}$ , [Н]	95	138	250	505
	$R_{DA}$ , [Н]	194	133	149	301
	$R_{CR}$ , [Н]	325	365	733	1901
	$R_{DR}$ , [Н]	342	278	512	1212
	$R_{GA}$ , [Н]	-----	86	178	379
	$R_{GR}$ , [Н]	-----	115	155	340



Згідно результатів досліджень, представлених у табл. 2 було створено відповідні графіки залежності максимальних значень реакцій у кінематичних парах шарнірного просторового механізму машини з двома робочими ємкостями від зміни коефіцієнту  $\Delta$ , які представлені на рис. 3 (радіальні складові реакцій) та рис. 4 (осьові складові реакцій).

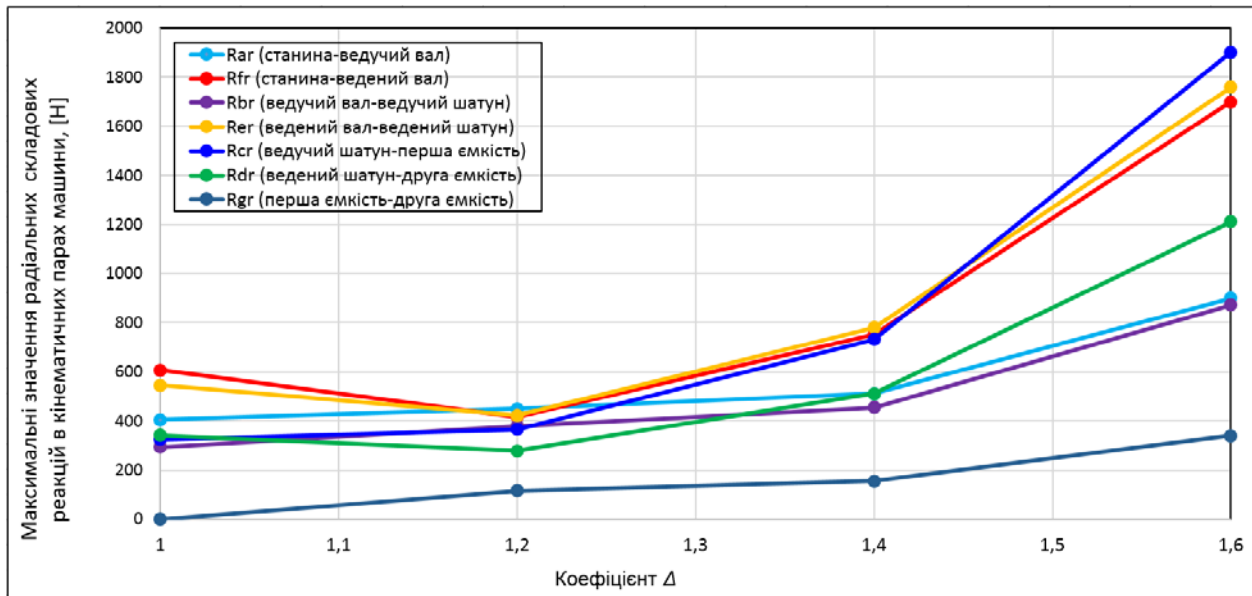


Рис. 3. Залежність максимальних значень радіальних складових реакцій в кінематичних парах просторового механізму від зміни коефіцієнту  $\Delta$

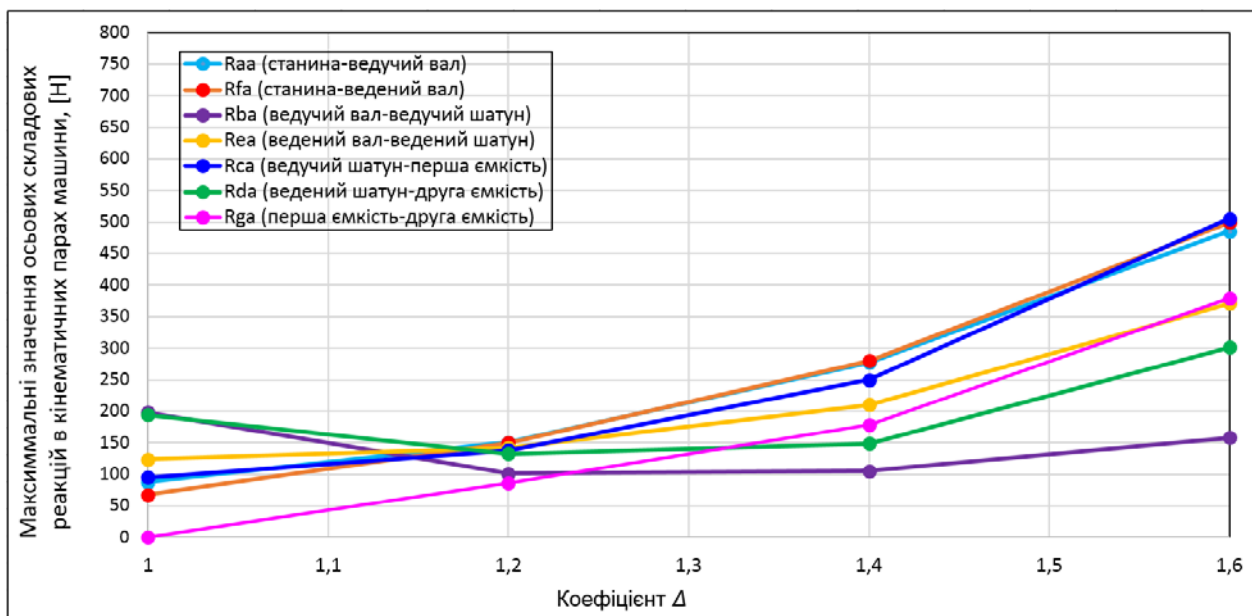


Рис. 4. Залежність максимальних значень осьових складових реакцій в кінематичних парах просторового механізму від зміни коефіцієнту  $\Delta$

У досліджуваній конструкції машини, при коефіцієнті  $\Delta = 1,2$  такі складові реакцій, як  $R_{FR}$ ,  $R_{BA}$ ,  $R_{ER}$ ,  $R_{DA}$  та  $R_{DR}$  стали меншими за відповідні значення реакцій у «базовій» конструкції машини, усі інші реакції збільшилися на відносно незначну величину. З подальшим збільшенням коефіцієнту  $\Delta$  спостерігалось вже інтенсивне збільшення реакцій практично в усіх кінематичних парах. При коефіцієнті  $\Delta = 1,4$  вже 12 з 14 складових реакцій перевищили

значення реакцій у «базовій» конструкції машини, при чому, такі реакції, як  $R_{AA}$ ,  $R_{FA}$  збільшилися у більш ніж три рази по відношенню до реакцій у «базовій» конструкції машини. При подальшому збільшенні загальної міжосьової відстані машини значення реакцій у кінематичних парах будуть зростати значно інтенсивніше, що призведе до необхідності посилення рухомих вузлів машини за рахунок збільшення їх жорсткості та міцності, що, в свою чергу, призведе до значного підвищення вартості даного типу обладнання.

#### Висновки.

1. За допомогою САПР SolidWorks виконано кінетостатичне дослідження просторового статично визначеного семиланкового шарнірного механізму галтувальної машини з двома робочими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою, зокрема, визначено радіальні та осьові складові реакції в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах.

2. Досліджено вплив зміни загальної міжосьової відстані машини, що характеризується коефіцієнтом  $\Delta$  на приріст максимальних значень реакцій в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах.

3. Встановлено, що досліджувану конструкцію машини раціонально використовувати в діапазоні зміни коефіцієнту  $\Delta = [1,0-1,3]$ . При коефіцієнті  $\Delta > 1,4$  спостерігалось значне збільшення максимальних значень більшості реакцій у порівнянні з максимальними значеннями реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини.

#### References

1. Marigo, M. (2012). Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK. 316 p.
2. Zaliubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Malyshev, V. V. (2020). Perspektivni tekhnologii obrobky detalei ta zmishuvannya sypanykh rechovyn u rukhomykh robochykh yemkostiakh (chastyna 1: sposoby tekhnolohichnykh operatsii) [Advanced technologies for processing parts and mixing bulk materials in mobile working tanks (part 1: methods of technological operations)]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky*, No. 2, Vol. 31(70), P. 29–35 [in Ukrainian].
3. Burmistenkov, O. P. et al. (2007). Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereinii promyslovosti: monohrafiia [Manufacture of cast details and articles of polymeric materials in the shoe and leather industry: monograph]. Khmelnytskyi. 255 p. [in Ukrainian].
4. Zalyubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Smirnov, Y. I., Klaptsov, Y. V., Malyshev, V. V. (2019). Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working container. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 2(132), P. 24–32.

#### Література

1. 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.
2. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Перспективні технології обробки деталей та змішування сипких речовин у рухомих робочих ємкостях (частина 1: способи технологічних операцій). *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. № 2, Том 31 (70). С. 29–35.
3. Бурмістенков О. П., Злотенко Б. М., Коновал В. П., Панасюк І. В., Скиба М. Є., Синюк О. М. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія. Хмельницький, 2007. 255 с.
4. 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 container. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019. № 2. Vol. 132, C. 24–32.

5. Zalyubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Smirnov, Y. I., Kuznetsova, O. O., Malyshev, V. V. (2019). Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 3(134), 9–17.
6. Zalyubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Malyshev V. V. (2019). Eksperymentalne vyznachennia enerhii neobkhdnoi dlia viddilennia metalevykh detalei vid lyyvnykiv [Experimental determination of the energy required to separate metal parts from foundries]. *Visnyk Kyiv National University of Technologies and Design – Bulletin of the KNUVD*, 6(140), 9–17 [in Ukrainian].
7. Shvarts, A. I. (1987). *Mehanizatsiya i avtomatizatsiya proizvodstva formovyih RTI: Uchebnoe posobie dlya rabocheho obrazovaniya* [Mechanization and automation of the production of molded rubber goods: a textbook for workers' education]. Moscow. 176 p. [in Russian].
8. Pershin, V. F., Odnolko, V. G., Pershina, S. V. (2009). *Pererabotka syvuchykh materialov v mashynakh barabannogo tipa* [Processing bulk materials in drum type machines]. Moscow: Mashinostroenie. 220 p. [in Russian].
9. Mayer-Laigle, C., Gatumel, C., & Berthiaux, H. (2015). Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer. *Chemical Engineering Research and Design*, 95, 248–261. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2014.11.003>.
10. Zalyubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Malyshev, V. V. (2007). *Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monohrafiia* [Machines with complex movement of working capacities for processing of polymer parts]. Kyiv. 228 p. [in Ukrainian].
11. Zaliubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Malyshev, V. V. (2020). Perspektivni tekhnologii obrobky detalei i zmishuvannia syvkykh rehovyn u rukhomykh robochykh yemkostiakh (chastyna 2: typu obladnannia z rukhomymy yemkostiamy) [Advanced technologies for processing parts and mixing bulk materials in mobile working tanks (part 2: types of equipment with moving tanks)], *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky*, No. 3, Vol. 31(70), P. 7–13 [in Ukrainian].
12. Zalyubovskii, M. G., Panasyuk, I. V. (2020). On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine. *International Applied Mechanics*, 56(1), P. 54–64.
5. Zalyubovskiy M. G., Panasyuk I. V., Smirnov Y. I., Kuznetsova O. O., Malyshev V. V. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019. Vol. 3 (134). P. 9–17.
6. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Експериментальне визначення енергії необхідної для відділення металевих деталей від ливників. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2019. № 6 (140). С. 9–17.
7. Шварц А. И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ: учебное пособие для рабочего образования. М.: Химия, 1987. 176 с.
8. Першин В. Ф., Однолько В. Г., Першина С. В. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа: монография. М.: Машиностроение, 2009. 220 с.
9. Mayer-Laigle C., Gatumel C., Berthiaux H. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer. *Chemical Engineering Research and Design*. March 2015. Vol. 95. P. 248–261. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2014.11.003>.
10. 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.
11. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Перспективні технології обробки деталей і змішування сипких речовин у рухомих робочих ємкостях (частина 2: типи обладнання з рухомими ємкостями). *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. № 3, Том 31 (70). С. 7–13.
12. Zalyubovskii M. G., Panasyuk I. V. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine. *International Applied Mechanics*. April 2020. Vol. 56, Issue 1, P. 54–64.

13. Zaliubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Smirnov, Yu. I., Malyshev, V. V. (2020). Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, Vol. 178, Iss. 4, P. 69–75.

14. Reshetov, L. N. (1972). *Konstruirovaniye ratsionalnykh mekhanizmov* [Designing rational mechanisms]. Moscow. 256 p. [in Russian].

15. Zalyubovskii, M. G., Panasyuk, I. V. (2020). Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels. *International Applied Mechanics*, 56(6), 762–772.

16. Zaliubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Malyshev, V. V. (2020). Sylove doslidzhennia prostorovoho shestylankovoho mekhanizmu mashyny dlia obrobky detalei (chastyna 1: doslidzhennia pry roboti mashyny na kholostomu khodi) [Power study of the spatial six-link mechanism of the machine for machining parts (part 1: study when the machine is idling)]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky*, No. 5, Vol. 31(70), P. 13–18 [in Ukrainian].

13. Zaliubovskiy M. G., Panasiuk I. V., Smirnov Yu. I., Malyshev V. V. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. Vol. 178. Iss. 4. P. 69–75.

14. Решетов Л. Н. Конструирование рациональных механизмов. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.: Машиностроение, 1972. 256 с.

15. Zalyubovskii M. G., Panasyuk I. V. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels. *International Applied Mechanics*. 2020. Vol. 56. Iss. 6. P. 762–772.

16. Залюбовський М. Г., Панасюк І. В., Малишев В. В. Силові дослідження просторового шестиланкового механізму машини для обробки деталей (частина 1: дослідження при роботі машини на холостому ході). *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. № 5, Том 31 (70). С. 13–18.

**ZALIUBOVSKIY MARK**

Open University of Human Development  
"Ukraine", Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>  
E-mail: [markzalubovskiy@gmail.com](mailto:markzalubovskiy@gmail.com)

**SKIDAN VLADYSLAVA**

Kyiv National University of  
Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8358-9759>  
E-mail: [v.v.skidan@ukr.net](mailto:v.v.skidan@ukr.net)

**<sup>1</sup>ЗАЛЮБОВСКИЙ М. Г., <sup>2</sup>СКИДАН В.В.**

<sup>1</sup> Открытый международный университет развития человека «Украина», г. Киев, Украина

<sup>2</sup> Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**КИНЕТОСТАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШАРНИРНОГО  
ПРОСТРАНСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ГАЛТОВОЧНОЙ МАШИНЫ (ЧАСТЬ 2:  
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА МАШИНЫ С ДВУМЯ РАБОЧИМИ ЕМКОСТЯМИ,  
СОЕДИНЕННЫМИ ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРОЙ)**

**Цель.** Кинестатическое исследование статически определенного шарнирного пространственного механизма без избыточной (пассивной) связи галтовочной машины с двумя рабочими емкостями, которые соединены между собой поступательной кинематической парой.

**Методика.** На основе кинестатического исследования определяли радиальные и осевые составляющие реакций во всех вращательных и поступательных кинематических парах шарнирного статически определенного пространственного механизма машины для обработки деталей с двумя рабочими емкостями, которые соединены между собой поступательной кинематической парой, при ее работе на холостом ходу. Исследование выполнялось с использованием системы автоматизированного проектирования SolidWorks, где было реализовано 3D модель галтовочной машины с двумя рабочими емкостями, которые соединены между собой поступательной кинематической парой.



**Результаты.** Выполнено 3D моделирование галтовочной машины с двумя рабочими емкостями, которые соединены между собой поступательной кинематической парой в системе автоматизированного проектирования SolidWorks, определены максимальные значения радиальных и осевых составляющих реакций во всех вращательных и поступательной кинематических парах машины, а также исследовано влияние изменения суммарного межосевого расстояния двух рабочих емкостей на природу максимальных значений реакций в кинематических парах пространственного механизма машины.

**Научная новизна.** Впервые определена взаимосвязь между суммарным межосевым расстоянием двух рабочих емкостей и изменением максимальных значений реакций во всех вращательных и поступательной кинематических парах галтовочной машины. Определен допустимый диапазон варьирования суммарным межосевым расстоянием двух рабочих емкостей, что создает условия для долговечной работы машины.

**Практическая значимость.** Определено, что изменение максимальных значений радиальных и осевых составляющих реакций во всех вращательных и поступательной кинематических парах пространственного механизма галтовочной машины зависит от суммарного межосевого расстояния двух рабочих емкостей машины. Полученные результаты исследований могут быть использованы при проектировании галтовочного оборудования со сложным пространственным движением рабочих емкостей.

**Ключевые слова:** межосевое расстояние; галтовочная машина; рабочая емкость.

<sup>1</sup>ZALYUBOVSKYI M. G., <sup>2</sup>SKIDAN V.V.

<sup>1</sup> Open International University of Human Development "Ukraine", Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

## KINETOSTATIC INVESTIGATION OF HINGED SPATIAL MECHANISMS OF GALTING MACHINES (PART 2: INVESTIGATION OF MECHANISM OF A MACHINE WITH TWO HUNDRED WORKS)

**Goal.** Kinetostatic study of a statically defined hinged spatial mechanism without excessive (passive) connection of the shredding machine with two working tanks connected by a translational kinematic pair.

**Method.** Radial and axial components of reactions in all rotating and translational kinematic pairs of the hinged statically defined spatial mechanism of the machine for processing of details with two working capacities connected among themselves by translational kinematic pair at its work at idling were determined on the basis of kinetostatic research. The study was performed using the computer-aided design system SolidWorks-2016 computer-aided design system, which performed a 3D model of a shredding machine with two working tanks connected by a translational kinematic pair.

**Results.** 3D modeling of a shredding machine with two working tanks connected by translational kinematic pair in the computer-aided design system SolidWorks-2016 computer-aided design system is performed, maximum values of radial and axial components of reactions in all rotating and translational kinematic pairs of machine are determined, and the influence of total two working tanks for the increase of the maximum values of reactions in the kinematic pairs of the spatial mechanism of the machine.

**Scientific novelty.** For the first time, the relationship between the total wheelbase of two working tanks and the change in the maximum values of reactions (axial and radial) in all rotating and translational kinematic pairs of the shredding machine was established. The allowable range of variation of the total wheelbase of two working tanks is determined, which creates conditions for long-term operation of the machine.

**Practical significance.** It is established that the change of maximum values of radial and axial components of reactions in all rotating and translational kinematic pairs of the spatial mechanism of the galvanizing machine depends on the total axial distance of two working capacities of the machine. The obtained research results can be useful in the design of shredding equipment with complex spatial movement of working tanks.

**Keywords:** wheelbase; shredding machine; working capacity.