

# ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.924.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/03>**Залюбовський М.Г.**

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

**Панасюк І.В.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Малишев В.В.**

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

## СИЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ШЕСТИЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ (ЧАСТИНА 1: ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ РОБОТІ МАШИНИ НА ХОЛОСТОМУ ХОДІ)

Високопродуктивне виконання галтувальних технологічних операцій обробки дрібних металевих і полімерних деталей (шліфування та полірування дрібних деталей абразивом у вигляді гранул, відділення деталей від ливників, подрібнення, очищення металевих деталей від продуктів корозії тощо) здійснюється з використанням машин, в яких робоча місткість виконує складний просторовий рух. За допомогою системи автоматизованого проєктування SolidWorks 2016 Motion виконано 3D моделювання та подальше силове дослідження просторового шестиланкового механізму галтувальної машини під час її роботи на холостому ході. У просторовому механізмі досліджуваної машини наявний пасивний (надлишковий) зв'язок, який може мати негативний вплив на її експлуатаційні властивості. Суть силового дослідження полягає у визначенні й порівнянні величини максимальних значень реакцій у всіх обертальних кінематичних парах машини, водночас кожену реакцію розподіляли на радіальну й осьову складові частини. На основі проведеного силового дослідження просторового механізму машини встановлено, що зміна реакцій у кожній кінематичній парі має індивідуальну особливість і відмінні екстремальні значення. Максимальні значення мають радіальні складники реакцій, мінімальні значення – осьові складники реакцій. Також визначено найбільші значення реакцій – це радіальні складники реакцій, які виникають у кінематичній парі «станина – ведучий вал» і кінематичній парі «станина – ведений вал». Циклічна зміна реакцій у всіх кінематичних парах має два періоди за один повний оберт ведучого валу машини. Отримані результати досліджень можуть бути основою для проведення подальших досліджень, у тому числі виконання подальшого порівняльного силового дослідження інших, розроблених авторами, конструкцій галтувальних машин без надлишкового зв'язку.

**Ключові слова:** просторовий рух, силове дослідження, реакції, кінематична пара, робоча місткість.

**Постановка проблеми.** Для виконання галтувальних технологічних операцій [1, с. 145–150] обробки металевих та полімерних деталей (шліфування та полірування дрібних деталей абразивом у вигляді гранул [2, с. 24–25], відділення деталей від ливників [3, с. 120], подрібнення, очищення металевих деталей від продуктів корозії тощо) використовують машину [4, с. 21], в якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Попередніми дослідженнями доведено [5, с. 159–174], що використання такої машини для виконання вищезгаданих технологічних операцій дозволяє значно інтенсифікувати процес

обробки, підвищити продуктивність виготовлення деталей з одночасним зменшенням енерговитрат. Однак, «базова» конструкція машини [6], яка використовується для виконання усіх вищезгаданих технологічних операцій має суттєвий недолік – наявність пасивного (надлишкового) зв'язку [7, с. 10], який негативно впливає на її експлуатаційні властивості, може призвести до передчасного її виходу з ладу. Наприклад, при збільшенні динамічного навантаження на рухомі ланки машини може виникнути їх деформація, що призведе до заклинювання просторового механізму «базової» конструкції машини. Авторами

були розроблені просторові механізми [8, с. 54–58; 9, с. 1-4] аналогічних конструкцій машини без пасивного (надлишкового) зв'язку шляхом введення в кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки. В результаті, ступінь рухомості таких механізмів збільшився на одиницю. Збільшення ступеня рухомості призводить до виникнення додаткової складової переміщення рухомих ланок механізму між собою, яка, в свою чергу, також здатна призвести до збільшення навантажень в кінематичних парах та подальшого зменшення їх ресурсу роботи. Таким чином, необхідно провести порівняльне силове дослідження просторового механізму «базової» конструкції машини, а також інших, розроблених авторами конструкцій машин без пасивного зв'язку, для можливості визначення найбільш раціональної для використання у промисловості конструкції галтувальної машини. Суть силового дослідження полягає у визначенні та порівнянні величини реакцій у всіх обертальних кінематичних парах машини, яке виконувалося на основі моделювання відповідної конструкції машини та подальшого силового дослідження у САПР SolidWorks.

**Постановка завдання.** Мета роботи – визначення та аналіз реакцій в усіх кінематичних парах просторового шестиланкового механізму машини при її роботі на холостому ході за допомогою САПР SolidWorks.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** «Базова» конструкція машини [4, с. 21; 10, с. 77–79] зі складним просторовим рухом робочої ємкості є прототипом промислового змішувача «Turbula T10B», який, на сьогоднішній день, є в серійному виробництві швейцарської компанії «Willy A. Bachofen Group» [6]. При моделюванні такої конструкції машини в САПР SolidWorks усі геометричні та конструктивні параметри приймали аналогічними до геометричних параметрів промислового змішувача «Turbula T10B», які представлені у таблиці 1. Модель «базової» конструкції машини представлена на рис. 1.

Силове дослідження «базової» конструкції машини в САПР SolidWorks виконувалося на холостому (без завантаженого робочого масиву) ході, при максимальній кутовій швидкості ведучого валу, що здатна забезпечити інтенсивну реалізацію відповідних галтувальних технологічних операцій.

Далі, за допомогою САПР SolidWorks (додаток Motion) визначали зміну реакції в кожній обертальній кінематичній парі просторового механізму машини за один повний оберт її ведучого

валу, при цьому, кожену реакцію розподіляли на радіальну та осьову складові. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини представлено на рис. 2.

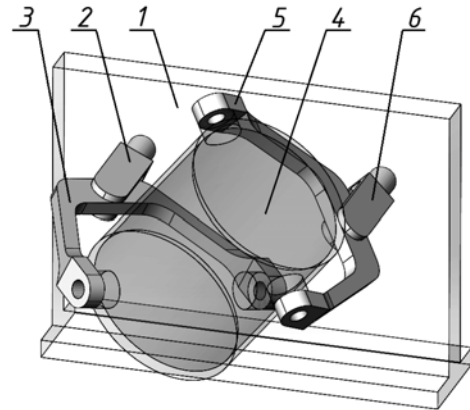


Рис. 1. Модель «базової» конструкції машини: 1 – станина, 2 – ведучий вал, 3 – ведуча вилка, 4 – робоча ємкість, 5 – ведена вилка, 6 – ведений вал

Таблиця 1

Технічна характеристика моделі «базової» конструкції машини	
Діаметр робочої ємкості $d_{PC}$	0,318 м (318 мм)
Довжина (між торцями) робочої ємкості $l_{II}$	0,342 м (342 мм)
Міжосьова відстань робочої ємкості $l_{PC}$	0,272 м (272 мм)
Об'єм робочої ємкості $V_{PC}$	0,0024 м <sup>3</sup> (24 л)
Коефіцієнт $\delta$ , що характеризує співвідношення $l_{PC} / l_B$	1
Маса усіх рухомих деталей машини $m_D$	42 кг
Кутова швидкість ведучого валу машини $\omega_{ведч.}$	3,3 с <sup>-1</sup> (32 об/хв)

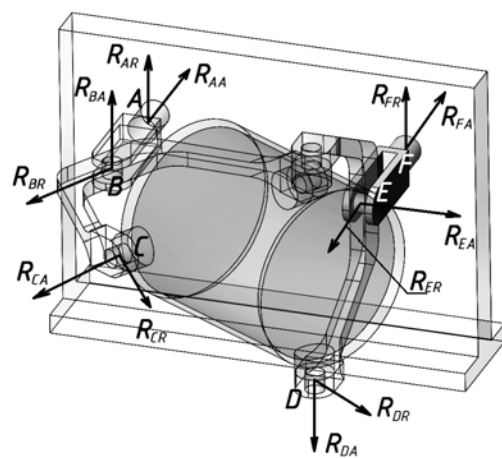


Рис. 2. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини

Було визначено реакції  $R$  в 6 обертальних кінематичних парах машини:  $A, B, C, D, E$  та  $F$ . Реакція  $R$  в кожній кінематичній парі (далі КП) була розподілена на дві складові: радіальну та осьову, таким чином:

$R_{AA}$  – осьова складова реакції в КП «станина – ведучий вал»;

$R_{AR}$  – радіальна складова реакції в КП «станина – ведучий вал»;

$R_{BA}$  – осьова складова реакції в КП «ведучий вал – ведуча вилка»;

$R_{BR}$  – радіальна складова реакції в КП «ведучий вал – ведуча вилка»;

$R_{CA}$  – осьова складова реакції в КП «ведуча вилка – робоча ємкість»;

$R_{CR}$  – радіальна складова реакції в КП «ведуча вилка – робоча ємкість»;

$R_{DA}$  – осьова складова реакції в КП «робоча ємкість – ведена вилка»;

$R_{DR}$  – радіальна складова реакції в КП «робоча ємкість – ведена вилка»;

$R_{EA}$  – осьова складова реакції в КП «ведена вилка – ведений вал»;

$R_{ER}$  – радіальна складова реакції в КП «ведена вилка – ведений вал»;

$R_{FA}$  – осьова складова реакції в КП «ведений вал – станина»;

$R_{FR}$  – радіальна складова реакції в КП «ведений вал – станина».

На рис. 3–8 у вигляді графіків представлено залежності реакцій у відповідних кінематичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини від кута повороту ведучого валу машини, при роботі машини на холостому ході.

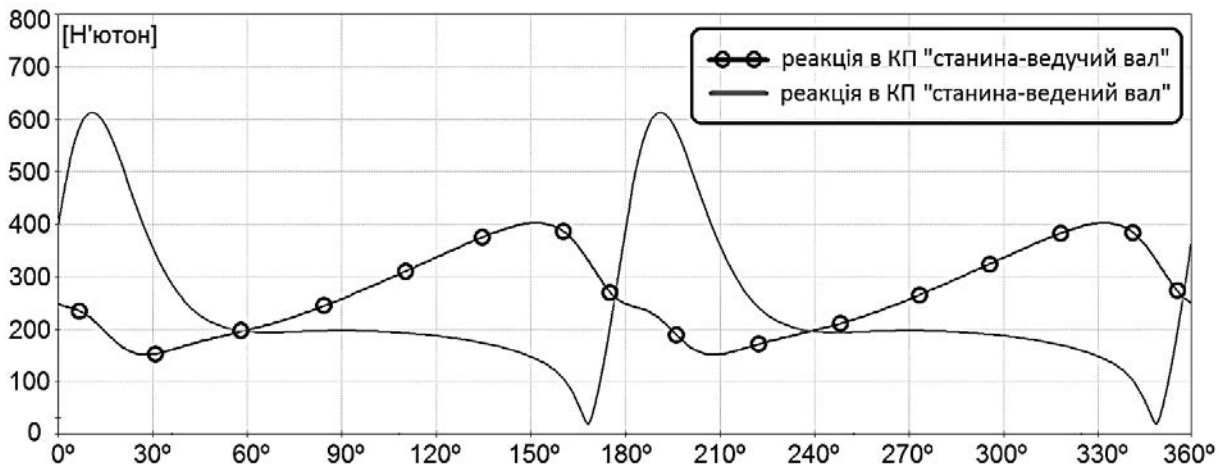


Рис. 3. Залежності величини радіальних реакцій  $R_{AR}$  та  $R_{FR}$  від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

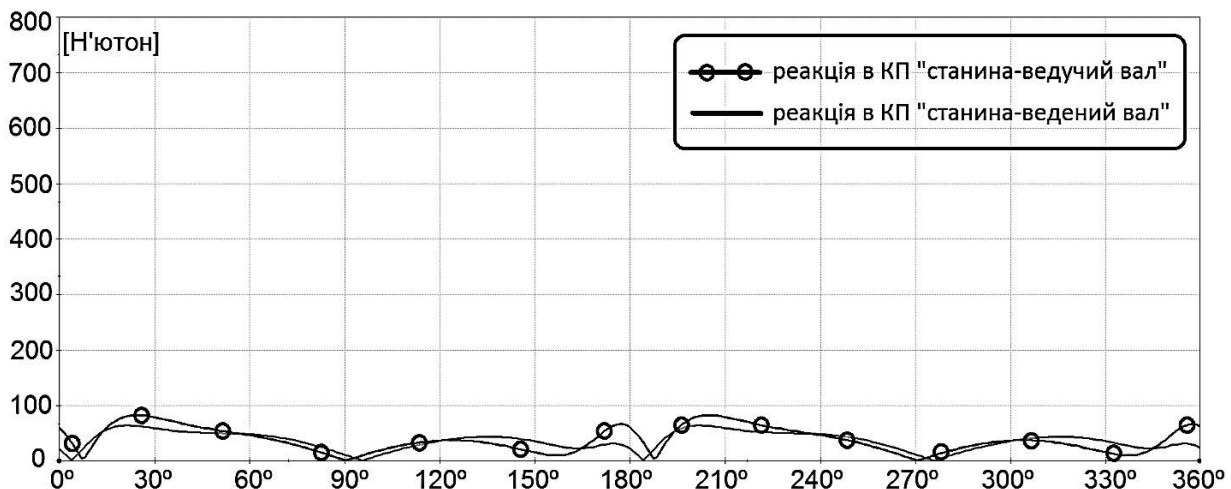


Рис. 4. Залежності величини осьових реакцій  $R_{AA}$  та  $R_{FA}$  від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

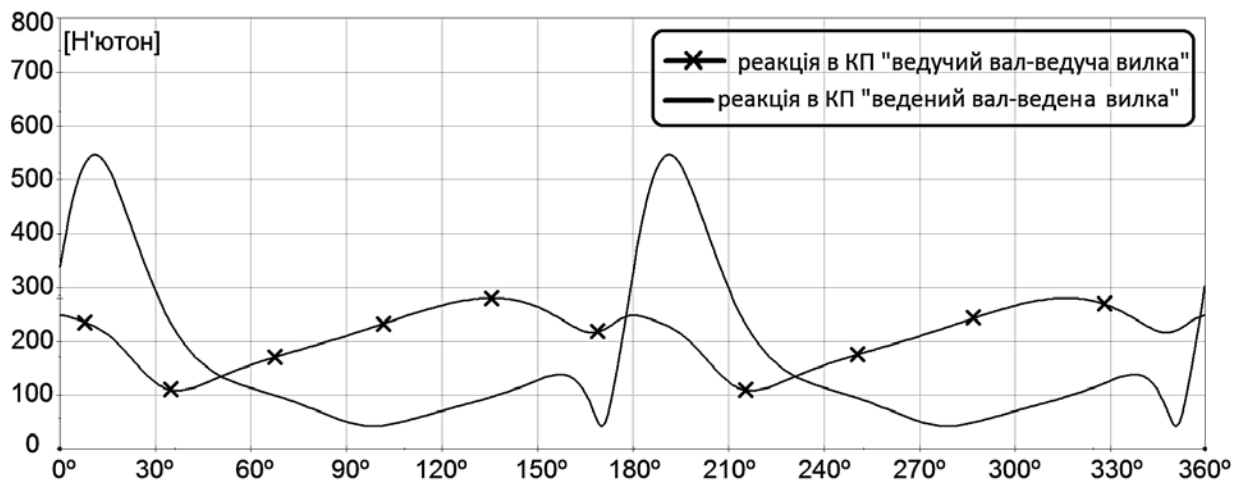


Рис. 5. Залежності величини радіальних реакцій  $R_{BR}$  та  $R_{ER}$  від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

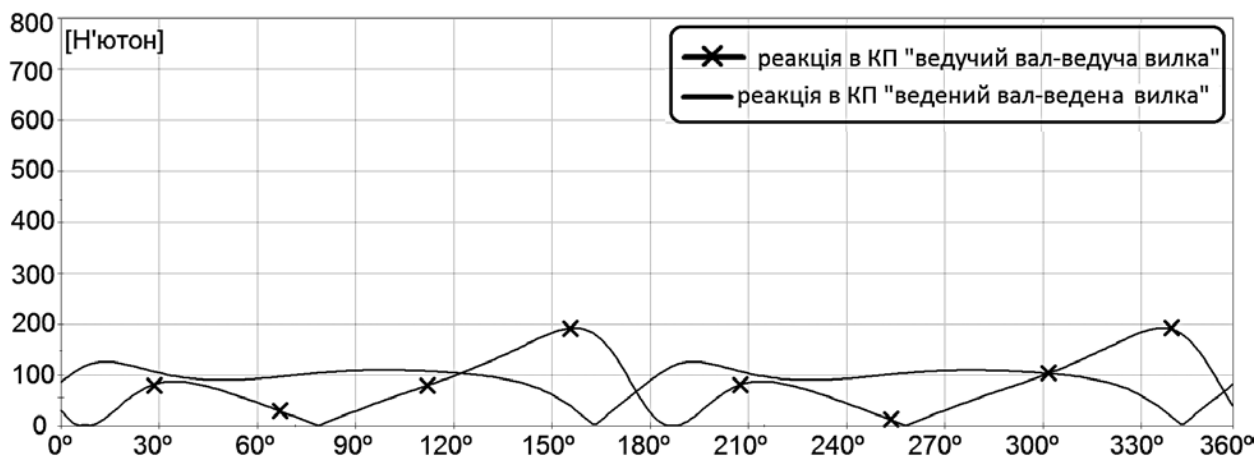


Рис. 6. Залежності величини осьових реакцій  $R_{BA}$  та  $R_{EA}$  від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

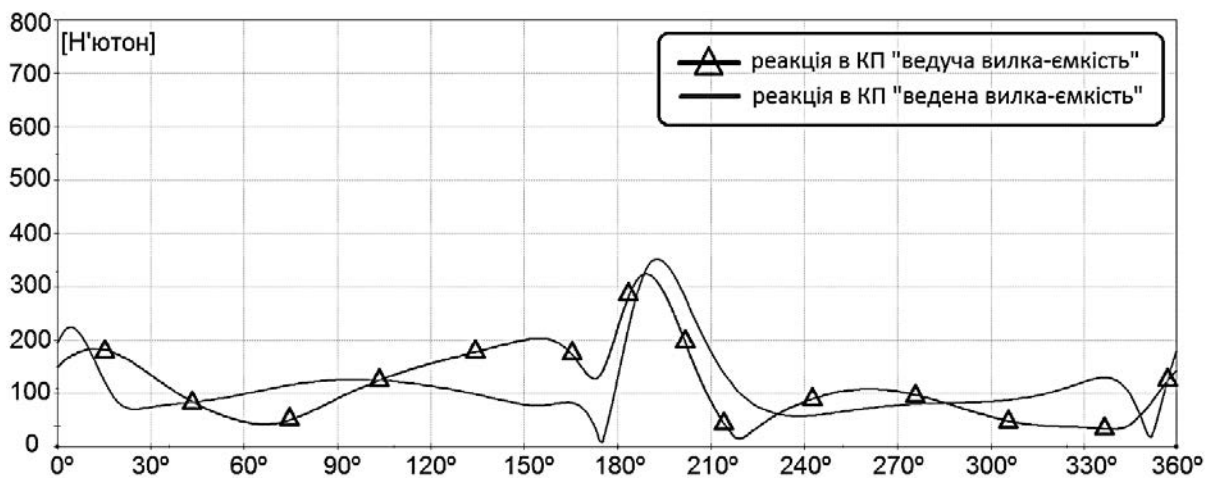


Рис. 7. Залежності величини радіальних реакцій  $R_{CR}$  та  $R_{DR}$  від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

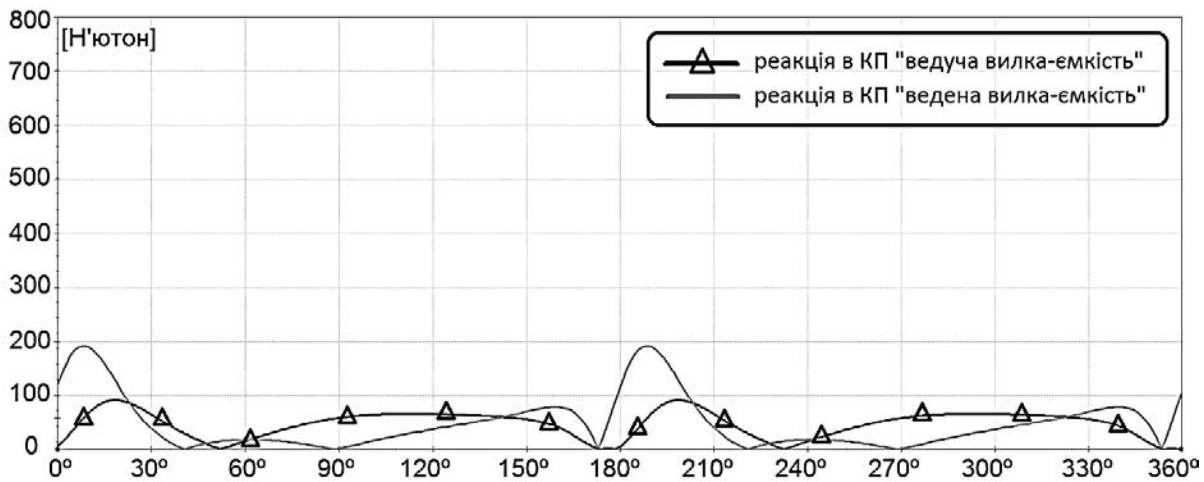


Рис. 8. Залежності величини осьових реакцій  $R_{CA}$  та  $R_{DA}$  від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

Проаналізувавши графіки, представлені на рис. 3 – рис. 8, можна стверджувати таке: зміна реакцій у кожній кінематичній парі має індивідуальну особливість та відмінні екстремальні значення; найбільше значення має радіальна складова реакції  $R_{FR}$ , яка виникає в кінематичній парі «станина – ведений вал» та досягає 610 Н; найменше значення мають осьові складові реакцій  $R_{AA}$  та  $R_{EA}$ , які виникають в кінематичній парі «станина – ведений вал» та досягають приблизно 80 Н; екстремуми радіальних реакцій  $R_{DR}$ ,  $R_{ER}$  та  $R_{FR}$  спостерігається при повороті ведучого валу на кут  $15^\circ$  та  $200^\circ$  (за кут повороту ведучого валу машини, який відповідає  $0^\circ$  прийнято таке положення рухомих ланок, при якому геометрична вісь з'єднання ведучої вилки та робочої ємкості приймає горизонтальне положення).

Оскільки змодельована у САПР SolidWorks машина відповідає геометричним та конструктивним параметрам промислового змішувача «Turbula T10B», який успішно використовується

у промисловості, то значення реакцій, які виникають в кінематичних парах просторового механізму машини, під час експлуатації її на холостому ході, можуть бути «базовими» для проведення подальших досліджень, в тому числі, виконання подальшого порівняльного силового дослідження інших, розроблених авторами, конструкцій галтувальних машин без надлишкового зв'язку.

**Висновки.** Визначено реакції в усіх кінематичних парах просторового шестиланкового механізму машини при її роботі на холостому ході за допомогою САПР SolidWorks.

Максимальні значення усіх радіальних складових реакцій у всіх кінематичних парах машини значно більші за максимальні значення відповідних осьових складових реакцій. Найбільші значення реакцій (радіальні реакції) виникають в кінематичній парі «станина – ведучий/ведений вал».

Циклічна зміна реакцій у всіх кінематичних парах має два періоди за один повний оберт ведучого валу машини.

#### Список літератури:

1. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості : монографія / за ред. В.П. Коновала. Хмельницький : ХНУ, 2007. 255 с.
2. 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. № 2. P. 24–32.
3. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. Москва : Химия, 1988. 176 с.
4. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation : dissertation EngD. The University of Birmingham, UK., 2012. 311 p.
5. Залюбовський М.Г. Панасюк І.В. Малишев В.В. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей : монографія. Київ : Університет «Україна», 2018. 228 с.

6. Willy A. Bachofen (WAB): сайт. Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. 2019. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (дата звернення: 08.08.2020).
7. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов. Изд. 2-е, переработ. и доп. Москва : Машиностроение, 1972. 256 с.
8. 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*. 2020. Issue 1. P. 54–64.
9. Машина для обработки деталей : пат. 143097 Україна ; МПК В01F 11/00. № и 202000655 ; заявл. 04.02.20 ; опубл. 10.07.20, Бюл. № 13. 4 с.
10. Панасюк І.В., Залюбовський М.Г. Визначення деяких конструктивних параметрів змішувачів з тривимірним обертанням барабану. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2013. № 5. С. 76–81.

**Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Malyshev V.V. POWER STUDY OF THE SPATIAL SIX-LINK MACHINE FOR PROCESSING PARTS (PART 1: STUDY WHEN THE MACHINE IS IDLE)**

*High-performance execution of tumbling technological operations for processing small metal and polymer parts (grinding and polishing small parts with abrasive in the form of granules, separating parts from sprues, grinding, cleaning metal parts from corrosion products, etc.) is carried out using machines in which a working capacity performs complex spatial movement. With the help of the SolidWorks 2016 Motion computer-aided design system, 3D modeling and further power studies of the spatial six-link mechanism of the tumbling machine when it is idling have been performed. In the spatial mechanism of the machine under study, there is a passive (redundant) connection, which can have a negative impact on its operational properties. The essence of force research consists in determining and comparing the magnitude of the maximum values of the reactions in all rotational kinematic pairs of the machine, while each reaction was divided into radial and axial components. On the basis of the conducted power study of the spatial mechanism of the machine, it was found that the change in reactions in each kinematic pair has an individual peculiarity and different extreme values. The radial components of the reactions have the maximum values, and the axial components of the reactions have the minimum values. The greatest values of the reactions are also determined – these are the radial components of the reactions that arise in the kinematic pair “bed – drive shaft” and the kinematic pair “bed – driven shaft”. Cyclic change of reactions in all kinematic pairs has two periods for one complete revolution of the machine drive shaft. The obtained research results can serve as a basis for further research, including the performance of further comparative force research of other, developed by the authors, designs of tumbling machines without redundant communication.*

**Key words:** spatial motion, force research, reactions, kinematic pair, working capacity.