

М.Г. ЗАЛЮБОВСЬКИЙ

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

І.В. ПАНАСЮК

Київський національний університет технологій та дизайну

СИЛОВОЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО СЕМИЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Високопродуктивне виконання галтувальних технологічних операцій обробки дрібних металевих та полімерних деталей здійснюється із використанням машин, у яких робоча ємкість виконує складний просторовий рух. За допомогою САПР SolidWorks 2016 виконано 3D моделювання та подальше силове дослідження просторового семиланкового механізму машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом. У ході виконання силового дослідження визначено реакції в усіх обертових кінематичних парах, досліджено вплив зміни міжосьової відстані робочої ємкості на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

Ключові слова: силове дослідження, надлишковий (пасивний) зв'язок, просторовий механізм, робоча ємкість, коромисло.

M.G. ZALYUBOVSKYI

Open International University of Human Development "Ukraine"

I.V. PANASYUK

Kyiv National University of Technology and Design

POWER INVESTIGATION OF THE SPATIAL SEMILANK MECHANISM OF THE MACHINE FOR PROCESSING OF DETAILS

To perform tumbling technological operations for the processing of small metal and polymer parts (grinding and polishing small parts with abrasive in the form of loose granules, separating parts from sprues, cleaning metal parts from corrosion products, rounding off sharp edges, and so on), equipment with containers is used. perform a different nature of the movement. The most efficient type of equipment providing high-performance processing of parts are machines with complex spatial movement of working containers. With the help of the SolidWorks 2016 Motion computer-aided design system, 3D modeling and further force study of the spatial seven-link mechanism of the machine with an elongated working capacity, in which the driven shaft is kinematically connected to an additional movable link - the rocker arm. 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, the influence of the change of the axial distance of the working capacity on the maximum values of reactions in the kinematic pairs of the machine was investigated. 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. 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: force research, redundant (passive) communication, spatial mechanism, working capacity, rocker arm.

Постановка задачі. У 1966 році швейцарською фірмою Willy A. Bachofen (WAB) [1] було розроблено змішувач [2, с. 145] для сипких дрібнодисперсних речовин, що є «базовою» конструкцією машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Згодом, авторами було доведено, що «базову» конструкцію машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості можна успішно використовувати для виконання галтувальних технологічних операцій обробки металевих та полімерних деталей (шліфування та полірування дрібних деталей абразивом у вигляді гранул [3], відділення деталей від ливників [4], подрібнення, очищення металевих деталей від продуктів корозії тощо). Також доведено [5], що використання даної машини для виконання вищезгаданих технологічних операцій дозволяє значно інтенсифікувати процес обробки, підвищити продуктивність виготовлення деталей з одночасним зменшенням енерговитрат. Однак, «базова» конструкція машини, в основі якої використовується просторовий шестиланковий механізм, має суттєвий недолік – наявність пасивного (надлишкового) зв'язку [2, с. 5], який негативно впливає на експлуатаційні властивості машини, може призвести до передчасного її виходу з ладу. Авторами було розроблено інші, аналогічні за принципом роботи машини зі складним рухом робочих ємкостей, без надлишкового зв'язку. Однією з таких конструкцій є машина [6], в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом, в основі якої використовується семиланковий просторовий механізм. У розробленій конструкції машини, за рахунок введення в кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки, також виникає можливість змінювати міжосьову відстань робочої ємкості, тобто, її довжину. Таким чином, важливо виконати силове дослідження розробленої конструкції машини, зокрема, дослідити, як зміна міжосьової відстані робочої ємкості, впливає на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини, при якій міжосьовій відстані робочої ємкості реакції в кінематичних парах машини будуть перевищувати максимальні значення реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини. Суть силового дослідження полягає у визначенні величини реакцій у всіх обертових кінематичних парах машини, яке виконувалося на основі моделювання даної конструкції

машини та подальшого силового дослідження у САПР SolidWorks.

Аналіз досліджень та публікацій. В цілому відомі багаточисленні роботи, які засвідчують успішність використання даного типу обладнання, як для реалізації процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин [7, 8], так і для реалізації різних типів гальтувальних технологічних операцій [9]. Зокрема, з використанням однієї з розроблених авторами конструкцій машин зі складним рухом робочої ємкості [10] для реалізації технологічного процесу відділення металевих деталей від ливників вдалося майже в 10 разів скоротити час виконання даної технологічної операції [11, с. 34]. Відоме [12] успішне використання даної машини і для шліфування поверхні полімерних деталей.

Однією з основних задач, що ставляться при проектуванні даного типу гальтувального обладнання є створення статично визначених механізмів без надлишкового (пасивного) зв'язку. Відомо [13, 14], що при дотриманні такої умови навантаження в ланках та кінематичних парах механізму будуть визначатися лише силовою технологічною та динамічною взаємодією. Цикл досліджень [5] по вдосконаленню конструкцій просторових механізмів машин зі складним рухом робочих ємкостей, був проведений авторами в Київському національному університеті технологій та дизайну. Таким чином, були розроблені різні конструкції машин без надлишкового пасивного зв'язку, однією з яких є досліджувана конструкція [6] в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом, в основі якої використовується семиланковий просторовий механізм.

Виділення невирішених частин. Однак, на сьогоднішній день відсутня інформація щодо виконання силового дослідження розробленої машини, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом. Залишається недослідженим питання впливу зміни міжосьової відстані робочої ємкості, на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

Формулювання цілей. Мета даної роботи є визначення та аналіз реакцій в усіх обертових кінематичних парах просторового семиланкового механізму машини без надлишкового зв'язку за допомогою САПР SolidWorks, дослідження впливу зміни міжосьової відстані робочої ємкості, на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

Виклад основного матеріалу. Розроблена конструкція машини, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом, що представлена на рис. 1, містить станину 1, ведучий 2 та ведений 3 вали, при чому, ведучий вал 2 встановлений в підшипниковій опорі станини 1, а ведений вал 3 з можливістю обертання кінематично з'єднаний з коромислом 4, яке рухомо встановлено в станині 1 та може виконувати коливальний рух у горизонтальній площині відносно вертикальної вісі. Ведучий 2 та ведений 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучою 5 та веденою 6 вилками відповідно, діаметрально взаємо перпендикулярні вісі яких 7 і 8 є вісями кріплення робочої ємкості 9. При моделюванні описаної конструкції машини у САПР SolidWorks основні геометричні та конструктивні параметри приймали аналогічними до параметрів промислового змішувача «Turbula T10B» («базова» конструкція машини). Відповідні геометричні та конструктивні параметри розробленої машини представлені у таблиці 1.

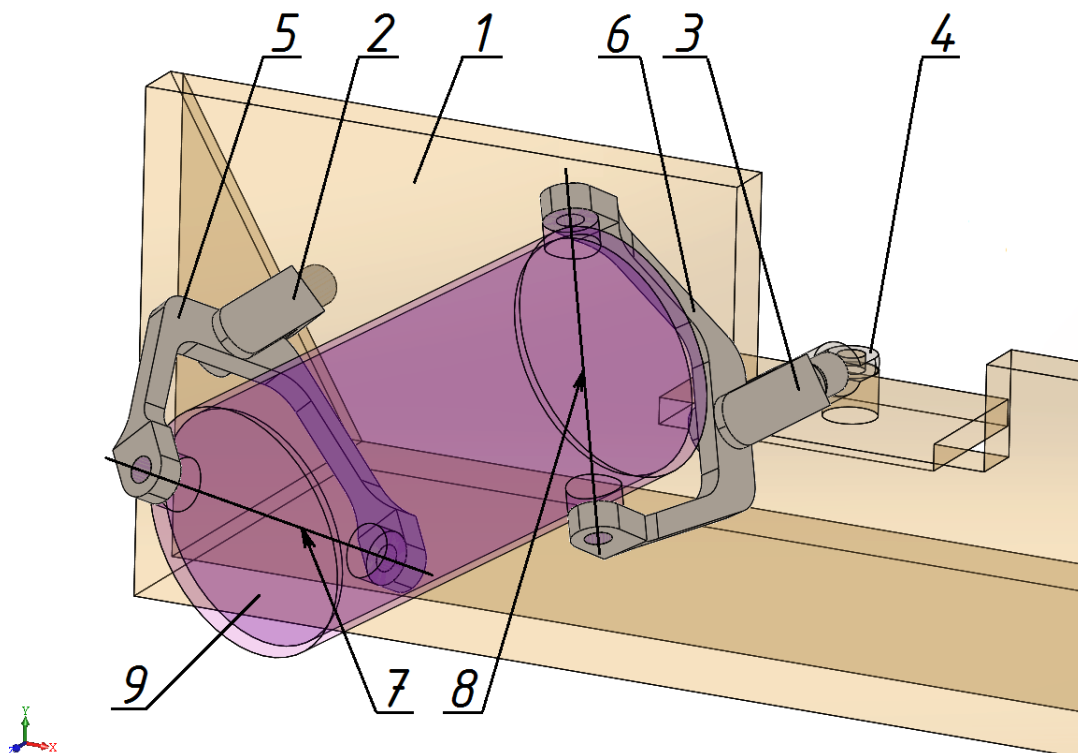


Рис. 1. Модель конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом

У даній конструкції машини, за рахунок введення в кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки – коромисла, виключено надлишковий (пасивний) зв'язок, який негативно впливає на експлуатаційні властивості машини. В результаті чого стало можливим варіювати міжосьовою відстанню робочої ємкості l_{PC} . Таким чином, важливо дослідити, як зміна даного геометричного параметру впливає на зміну максимальних значень реакцій в кінематичних парах машини, при якій міжосьовій відстані робочої ємкості l_{PC} реакції в кінематичних парах машини будуть перевищувати попередньо визначені [5] максимальні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини. Силове дослідження виконували за допомогою САПР SolidWorks (додаток Motion). Міжосьову відстань робочої ємкості l_{PC} поступово збільшували та спостерігали за зміною реакцій в кінематичних парах машини, для кожної реакції визначали її екстремальні значення. При цьому, міжосьова відстань робочої ємкості l_{PC} була виражена коефіцієнтом δ , що запропонований у роботі [15, с. 8] та характеризує відношення міжосьової відстані робочої ємкості до міжосьової відстані ведучої (веденої) вилки машини: l_{PC} / l_B . Дослідження були проведені для конструкції машин з наступними значеннями коефіцієнту δ : 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0.

Визначали «граничну» міжосьову відстань робочої ємкості, подальше видовження якої призведе до значного збільшення реакцій в кінематичних парах машини, що будуть перевищувати значення реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом представлено на рис. 2.

Таблиця 1

Геометричний параметр машини	Значення коефіцієнту δ				
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Діаметр робочої ємкості d_{PC}	0,318 м	0,318 м	0,318 м	0,318 м	0,318 м
Довжина (між торцями) робочої ємкості $l_{Ц}$	0,430 м	0,480 м	0,535 м	0,590 м	0,640 м
Міжосьова відстань вилки l_B	0,272 м	0,272 м	0,272 м	0,272 м	0,272 м
Міжосьова відстань робочої ємкості l_{PC}	0,330 м	0,380 м	0,435 м	0,490 м	0,540 м
Об'єм робочої ємкості V_{PC}	0,032 м ³	0,036 м ³	0,041 м ³	0,045 м ³	0,050 м ³
Маса усіх рухомих деталей машини m_D	50 кг	52 кг	53,2 кг	54,5 кг	55,6 кг
Кутова швидкість ведучого валу машини $\omega_{ведч.}$	3,3 с ⁻¹ (32 об/хв)	3,3 с ⁻¹ (32 об/хв)	3,3 с ⁻¹ (32 об/хв)	3,3 с ⁻¹ (32 об/хв)	3,3 с ⁻¹ (32 об/хв)

Оскільки попередні результати силового дослідження «базової» конструкції машини показали [5], що усі значення реакцій в кінематичних парах машини, при її роботі на робочому ході, були пропорційно збільшені на одну й ту ж саму величину від значень реакцій в кінематичних парах машини при роботі її на холостому ході, то подальші порівняльні дослідження інших розроблених конструкцій машин слід проводити при роботі машини на холостому ході.

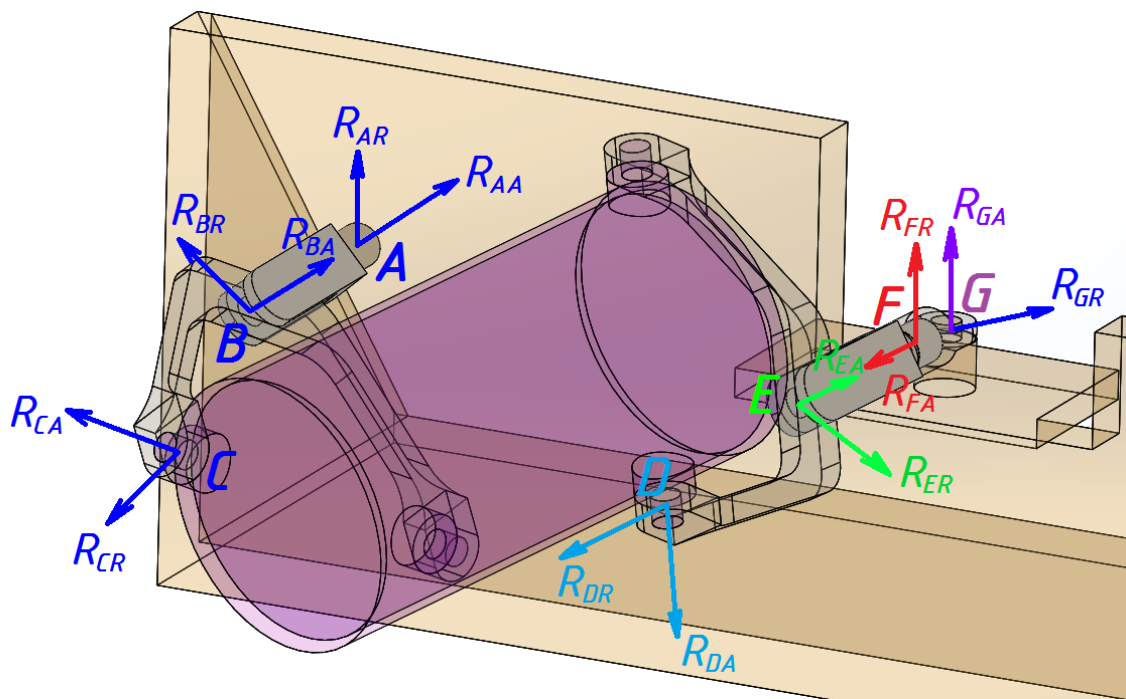


Рис. 2. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом

Визначали максимальні значення реакцій R в семи обертовальних кінематичних парах машини: A, B, C, D, E, F, G . Значення усіх реакцій були розподілені на дві складові: радіальну та осьову: 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 – ведуча вилка»; R_{BR} – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведучий вал – ведуча вилка»; R_{CA} – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведуча вилка – робоча ємкість»; R_{CR} – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведуча вилка – робоча ємкість»; R_{DA} – осьова складова реакції в кінематичній парі «робоча ємкість – ведена вилка»; R_{DR} – радіальна складова реакції в кінематичній парі «робоча ємкість – ведена вилка»; R_{EA} – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведена вилка – ведений вал»; R_{ER} – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведена вилка – ведений вал»; R_{FA} – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведений вал – коромисло»; R_{FR} – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведений вал – коромисло»; R_{GA} – осьова складова реакції в кінематичній парі «коромисло – станина»; R_{GR} – радіальна складова реакції в кінематичній парі «коромисло – станина».

В таблиці 2 представлено визначені за допомогою САПР SolidWorks максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини в залежності від зміни коефіцієнту δ , а також значення реакцій у відповідних кінематичних парах просторового механізму базової конструкції машини, що відповідає коефіцієнту $\delta=1$.

Таблиця 2

		Коефіцієнт δ , що характеризує відношення l_{PC}/l_B					
		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Значення реакцій в кінематичних парах машини, при її роботі на холостому ході	R_{AA} , [H]	88	61	40	34	77	160
	R_{FA} , [H]	68	50	40	38	77	122
	R_{AR} , [H]	405	244	205	205	300	310
	R_{FR} , [H]	608	123	110	199	242	569
	R_{BA} , [H]	198	69	80	100	119	152
	R_{EA} , [H]	124	26	25	55	98	138
	R_{BR} , [H]	294	257	215	196	238	241
	R_{ER} , [H]	545	118	87	165	170	508
	R_{CA} , [H]	95	28	19	25	70	131
	R_{DA} , [H]	194	40	21	17	19	20
	R_{CR} , [H]	325	145	122	170	340	598
	R_{DR} , [H]	342	75	90	168	252	500
	R_{GA} , [H]	-----	118	98	178	275	490
	R_{GR} , [H]	-----	80	70	105	146	328

На основі представлених у таблиці 2 результатів досліджень було побудовано, у вигляді графіків, залежності максимальних значень реакцій в кінематичних парах досліджуваного просторового механізму від зміни коефіцієнту δ , які представлені на рис. 3 (радіальні складові реакцій) та рис. 4 (осьові складові реакцій).

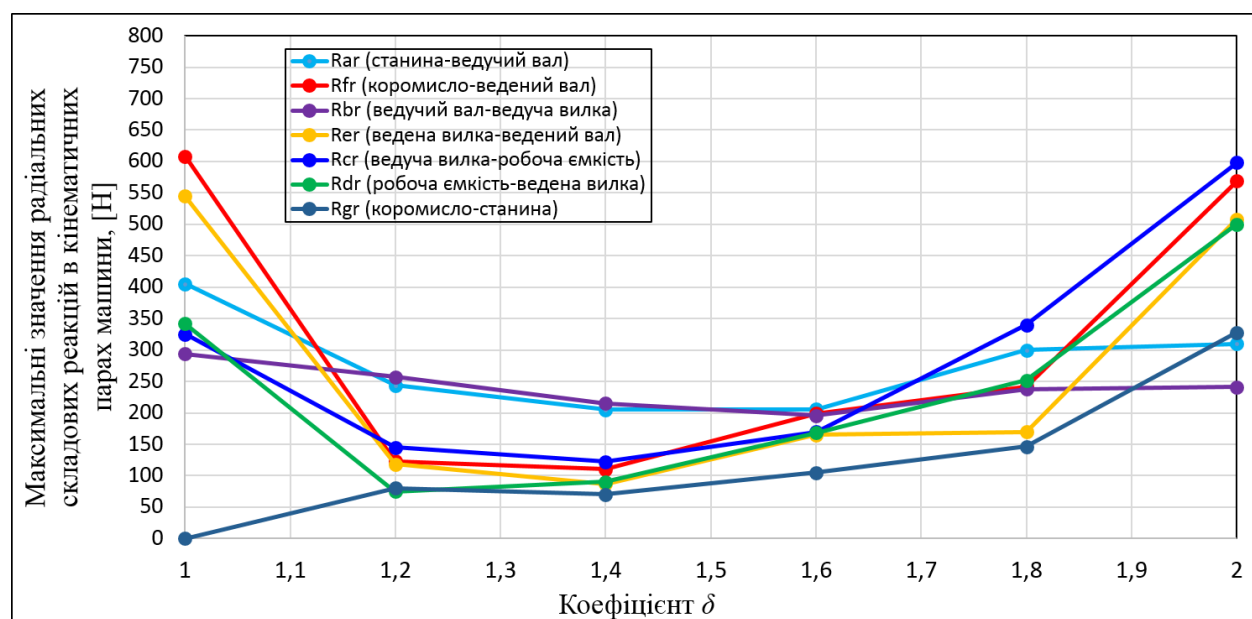


Рис. 3. Залежність максимальних значень радіальних складових реакцій в кінематичних парах просторового механізму конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом від зміни коефіцієнту δ

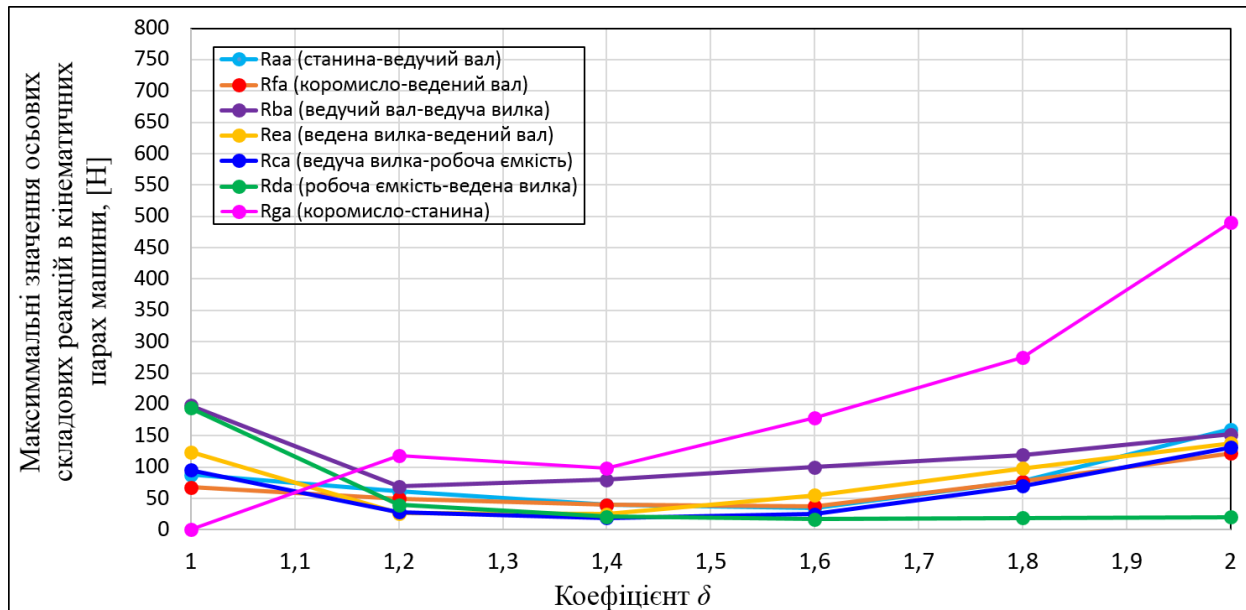


Рис. 4. Залежність максимальних значень осевих складових реакцій в кінематичних парах просторового механізму конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом від зміни коефіцієнту δ

На основі аналізу залежностей, які представлені на рис. 3 та рис. 4, а також порівняння даних, представлених у таблиці 2, можна стверджувати наступне: більш раціональним є використання розробленої конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом ніж «базової» конструкції машини у зв'язку з тим, що в діапазоні зміни коефіцієнту $\delta=[1,2-1,6]$ максимальні значення реакцій в кінематичних парах досліджуваної машини будуть значно менші за максимальні значення реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини.

Зі збільшенням величини коефіцієнту δ збільшувалися й максимальні значення реакцій у кінематичних парах. Однак, характер зміни осевих та радіальних складових максимальних значень реакцій в кінематичних парах мав відмінності. Максимальні значення осевих складових реакцій майже не змінювалися при збільшенні міжосьової відстані робочої ємкості l_{PC} та коефіцієнту δ , в той час, як радіальні максимальні значення радіальних складових реакцій, при коефіцієнті $\delta=1,2$ різко зменшилися, в діапазоні зміни коефіцієнту $\delta=[1,2-1,8]$ залишалися майже незмінними, після чого відбулося їх різке збільшення вже при коефіцієнті $\delta=2,0$.

У досліджуваній конструкції машини при коефіцієнті $\delta=2,0$ спостерігалось вже значне збільшення максимальних значень деяких реакцій в порівнянні з максимальними значеннями реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини. Таким чином, максимальні значення реакцій R_{AA} , R_{FA} , R_{CR} , R_{DR} стали більшим майже в два рази. Максимальні значення реакцій R_{GA} та R_{GR} збільшилися в більш ніж чотири рази (в порівнянні з конструкцією машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом, при коефіцієнті $\delta=1,2$). Максимальні значення реакцій R_{EA} та R_{CA} перевищили аналогічні максимальні значення реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини на незначну величину.

Висновки

1. Виконано силове дослідження просторового семиланкового механізму машини для обробки деталей з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом за допомогою САПР SolidWorks, зокрема, визначено реакції в усіх обертових кінематичних парах.

2. Досліджено вплив зміни коефіцієнту δ , який характеризує відношення міжосьової відстані робочої ємкості до міжосьової відстані ведучої (веденої) вилки машини на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

3. Встановлено, що конструкцію машини з видовженою робочою ємкістю, в якій ведений вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – коромислом раціонально використовувати в діапазоні зміни коефіцієнту $\delta=[1,2-2,0]$. У досліджуваній конструкції машини при коефіцієнті $\delta=2,0$ спостерігалось вже значне збільшення максимальних значень деяких реакцій в порівнянні з максимальними значеннями реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини.

Література

1. Willy A. Bachofen (WAB) AG, Maschinenfabrik. 2019. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (date of acces: 14.09.2020).
2. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов / Решетов Л.Н. – Изд. 2-е, переработ. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 256 с.
3. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, O.O. Kuznetsova, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24–32.
4. Залюбовський М.Г. Аналітичне визначення часу виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2019. – № 6 (140). – С. 9–18.
5. 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.
6. Патент №143097, МПК B01F 11/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. ; заявник та патентовласник Вищий навчальний заклад «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна». – № u202000655 ; заяв. 04.02.2020 ; опуб. 10.07.2020, бюл. № 13.
7. M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, A. Ingram, E. H. Stitt. A numerical comparison of mixing efficiencies of solids in a cylindrical vessel subject to a range of motions, Powder Technology, Powder Technology 217 (2012), pp. 540–547.
8. M. Marigo. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK., 2012.
9. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості : монографія / під заг. ред. В.П. Коновала. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 255 с.
10. Патент №89571, МПК B01F 11/00. Машина для обробки деталей / Панасюк І.В., Залюбовський М.Г. ; заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201313728 ; заяв. 26.11.2013 ; опуб. 25.04.2014, бюл. № 8.
11. 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.
12. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, Y.V. Klaptsov, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24–32.
13. Antonyuk E.Ya. Dynamic system of an engine with spatially rocking links: a mathematical model / E.Ya. Antonyuk, V.A. Sakhamov, N.I. Koval // International Applied Mechanics. – 201046. – No. 9. – P. 1039–1049.
14. Antonyuk E. Ya. Motion of an articulated vehicle with two-dimensional sections subject to lateral obstacles / E.Ya. Antonyuk, A.T. Zabuga // International Applied Mechanics. – 2016. – 52, No 4. – P. 404–412.
15. Залюбовський М.Г. Вдосконалення машин зі складним рухом робочих ємкостей для обробки деталей легкої промисловості : автореф. дис. на здобуття вченого ступеня к-та техн. наук : 05.05.10 – машини легкої промисловості / Залюбовський М.Г. / Київський національний університет технологій та дизайну. – К. : КНУТД, 2017. – 24 с.

References

1. Willy A. Bachofen (WAB) AG, Maschinenfabrik. 2019. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (date of acces: 14.09.2020).
2. Reshetov L.N. Konstruyovanye ratsyonalnykh mekhanizmov / Reshetov L.N. – Yzd. 2-e, pererabot. y dop. – M. : Mashynostroenye, 1972. – 256 s.
3. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, O.O. Kuznetsova, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24–32.
4. Zaliubovskiy M.H. Analitichne vyznachennia chasu vykonannia tekhnologichnoi operatsii viddilennia metalovykh detalei zamka «blyskavka» vid lyvnykiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu – 2019. – № 6 (140). – S. 9–18.
5. 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.
6. Patent №143097, МПК V01F 11/00. Mashyna dlia obrobky detalei / Zaliubovskiy M.H., Panasiuk I.V., Malyshev V.V. ; zaiavnyk ta patentovlasnyk Vyshchyi navchalnyi zaklad «Vidkrytyi mizhnarodnyi universytet rozvytku liudyny «Ukraina». – № u202000655 ; zaiav. 04.02.2020 ; opub. 10.07.2020, biul. № 13.
7. M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, A. Ingram, E. H. Stitt. A numerical comparison of mixing efficiencies of solids in a cylindrical vessel subject to a range of motions, Powder Technology, Powder Technology 217 (2012), pp. 540–547.

8. M. Marigo. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK., 2012.
9. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalanterinii promyslovosti : monohrafiia / pid zah. red. V.P. Konovala. – Khmelnytskyi : KhNU, 2007. – 255 c.
10. Patent №89571, MPK B01F 11/00. Mashyna dlia obrobky detalei / Panasiuk I.V., Zaliubovskiy M.H. ; zaiavnyk ta patentovlasnyk Kyivskiy natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu. – № u201313728 ; zaiav. 26.11.2013 ; opub. 25.04.2014, biul. № 8.
11. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masivu ta obiemu zapovnennia yemkosti na intensyvnist viddilennia metalevykh detalei vid lyvnykiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – № 1 (142). – S. 27–38.
12. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / M.G. Zalyubovskiy, I.V. Panasyuk, Y.I. Smirnov, Y.V. Klaptsov, V.V. Malyshev // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24–32.
13. Antonyuk E.Ya. Dynamic system of an engine with spatially rocking links: a mathematical model / E.Ya. Antonyuk, V.A. Sakhamov, N.I. Koval // International Applied Mechanics. – 201046. – No. 9. – P. 1039–1049.
14. Antonyuk E. Ya. Motion of an articulated vehicle with two-dimensional sections subject to lateral obstacles / E.Ya. Antonyuk, A.T. Zabuga // International Applied Mechanics. – 2016. – 52, No 4. – P. 404–412.
15. Zaliubovskiy M.H. Vdoskonalennia mashyn zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky detalei lehkoi promyslovosti : avtoref. dys. na zdobuttia vchenoho stupenia k-ta tekhn. nauk : 05.05.10 – mashyny lehkoi promyslovosti / Zaliubovskiy M.H. / Kyivskiy natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu. – K. : KNUTD, 2017. – 24 s.

Рецензія/Peer review :08.09.2020 р.

Надрукована/Printed : 02.11.2020 р.