

DOI 10.31891/2307-5732-2023-319-1-9-14
УДК 621.924.7

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ МАРК

Київський національний університет технологій та дизайну,
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»
<https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>
e-mail: markzalubovskiy@gmail.com

БЛАЖЕНКО МАРІЯ.

Національний університет харчових технологій
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»
<https://orcid.org/0000-0002-0984-8660>
e-mail: blagmary@ukr.net

ПАНАСЮК ІГОР

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>
e-mail: panasjuk1961@gmail.com

СИЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАХ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ З РОБОЧОЮ ЄМКІСТЮ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ ТА ЗМІННИМ ОБ'ЄМОМ

Високої продуктивності під час виконання фінішних галтувальних технологічних операцій, а також технологічних процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин можна досягнути із використанням обладнання, у якому робочі ємкості виконують складний просторовий рух. На сьогоднішній день відомі різні типи розроблених галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. Кожен тип такого обладнання відповідає реалізації різних галтувальних технологічних операцій – відділення деталей від ливників, шліфування чи полірування виробів, очищення металевих деталей від корозії або змішування сипких дрібнодисперсних речовин. При експлуатації галтувального обладнання у кінематичних парах виникають різні реактивні навантаження, які залежать від конструктивних особливостей машин. Із застосуванням системи автоматизованого проектування «SolidWorks» виконано 3D моделювання та подальше силове дослідження моделі галтувальної машини з робочою ємкістю зі складним просторовим рухом та змінним об'ємом. У кінематичному ланцюзі досліджуваної машини використовується додаткова рухома ланка шатун із обертальною та поступальною кінематичними парами. У ході виконання силового дослідження визначено реакції в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах, досліджено вплив зміни міжосьової відстані робочої ємкості та додаткової рухомої ланки шатуна на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини. Представлені результати аналітичних досліджень можуть бути застосовані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей та галтувальних технологічних процесів.

Ключові слова: реакції, просторовий механізм, шатун, робоча ємкість.

ZALYUBOVSKYI MARK

Kyiv National University of Technology and Design,
Open International University of Human Development "Ukraine"

BLAZHENKO MARIIA

National University of Food Technologies
Open International University of Human Development "Ukraine"

PANASYUK IGOR

Kyiv National University of Technology and Design

FORCE STUDY OF REACTIVE LOADS IN KINEMATIC COUPLES OF A WORKING CAPACITY TURNING MACHINE WITH COMPLEX SPACE MOVEMENT AND VARIABLE VOLUME

High productivity when performing finishing technological operations, as well as technological processes of mixing loose fine-dispersed substances, can be achieved with the use of equipment in which working containers perform complex spatial movement. To date, various types of developed felting machines with complex spatial movement of working containers are known. Each type of such equipment corresponds to the implementation of various felting technological operations - separation of parts from sprues, grinding or polishing of products, cleaning of metal parts from corrosion or mixing of loose fine-dispersed substances. During the operation of the rolling equipment, various reactive loads arise in the kinematic pairs, which depend on the design features of the machines. With the use of the automated design system "SolidWorks", 3D modeling and further strength research of a model of a rolling machine with a working capacity with complex spatial movement and variable volume was performed. In the kinematic chain of the machine under study, an additional moving connecting rod link with rotational and translational kinematic pairs is used. During the performance of the force study, the reactions in all rotational and translational kinematic pairs were determined, the influence of the change in the interaxial distance of the working capacity and the additional moving link of the connecting rod on the maximum values of the reactions in the kinematic pairs of the machine was investigated. The presented results of analytical studies can be applied in the relevant design bureaus of machine-building enterprises at the stage of designing equipment with complex spatial movement of working capacities and felting technological processes.

Key words: reactions, spatial mechanism, connecting rod, working capacity.

Постановка задачі. Відома [1, 2] значні кількість розроблених конструкцій галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей. Кожна розроблена конструкція такої машини має свої індивідуальні конструктивні особливості, які впливають на особливість характеру переміщення рухомих

ланок машини та її робочу ємкість, здатні реалізувати різні режими руху робочого масиву.

Таким чином, усі розроблені конструкції галтувальних машин можуть бути найбільш вдало використані для окремих типів галтувальних технологічних операцій, наприклад, для відділення деталей від ливників [3], шліфування чи полірування виробів [4], очищення металевих деталей від корозії або змішування сипких дрібнодисперсних речовин [5].

Наявність відмінних конструктивних особливостей зумовлюють не лише різний характер просторового переміщення рухомих ланок машини, але й призводить до різних навантажень, які будуть виникати під час експлуатації машини в її кінематичних парах. Важливою задачею є визначення значень цих реакцій у кінематичних парах машини при відповідних експлуатаційних умовах.

Аналіз досліджень та публікацій. Відомий ряд експериментальних та аналітичних досліджень, які висвітлені у наукових роботах [6–8], у яких підтверджується ефективність використання такого обладнання для виконання зазначених вище галтувальних технологічних операцій.

Також відомі проведені силові дослідження різних галтувальних машин зі складним просторовим рухом робочих ємкостей, зокрема у [9] представлені силові дослідження галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою коромислом, що має вертикальну вісь обертання, у [10] – галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою коромислом, що має горизонтальну вісь обертання, у [11] – галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою повзуном, у [12] – галтувальної машини, у якій ведена вилка та робоча ємкість утворюють кінематичну пару четвертого класу, у [13] – галтувальної машини з двома робочими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою.

Виділення невирішених частин. Однак, не зважаючи на представлену вище інформацію щодо виконаних силових досліджень деяких галтувальних машин, у яких робочі ємкості виконують складний просторовий рух, на сьогоднішній день відсутня інформація щодо аналогічного силового дослідження галтувальної машини [14] з додатковою рухомою ланкою шатуном, якій містить обертальну та поступальну кінематичні пари та призводить до циклічної зміни об'єму робочої ємкості під час експлуатації даної конструкції машини. Лишається відкритим питання дослідження впливу зміни міжосьової відстані робочої ємкості, на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

Формулювання цілей. Метою роботи є визначення та аналіз реакцій в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах просторового семиланкового механізму галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою шатуном, якій містить обертальну та поступальну кінематичні пари та призводить до циклічної зміни об'єму робочої ємкості під час її експлуатації за допомогою САПР SolidWorks, дослідження впливу зміни міжосьової відстані робочої ємкості, на максимальні значення реакцій в кінематичних парах.

Виклад основного матеріалу. Розроблена конструкція галтувальної машини з додатковою рухомою ланкою шатуном, якій містить обертальну та поступальну кінематичні пари та призводить до циклічної зміни об'єму робочої ємкості під час її експлуатації та складається зі станини 1, ведучого 2 та веденого 3 валів. Вали 2 та 3 шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучою 4 та веденою 5 вилками відповідно, діаметрально взаємно перпендикулярні вісі яких 6 і 7 є вісями кріплення шатуна 8 та ємності 9 відповідно. Шатун 8 виконаний у вигляді поршня, що за допомогою поступальної кінематичної пари *D* рухомо з'єднаний з ємністю 9, а за допомогою обертальної кінематичної пари *E* – з ведучою вилкою. Кінематична схема синтезованого механізму представлена на рис. 1.а, а модель розробленої машини – на рис. 1.б.

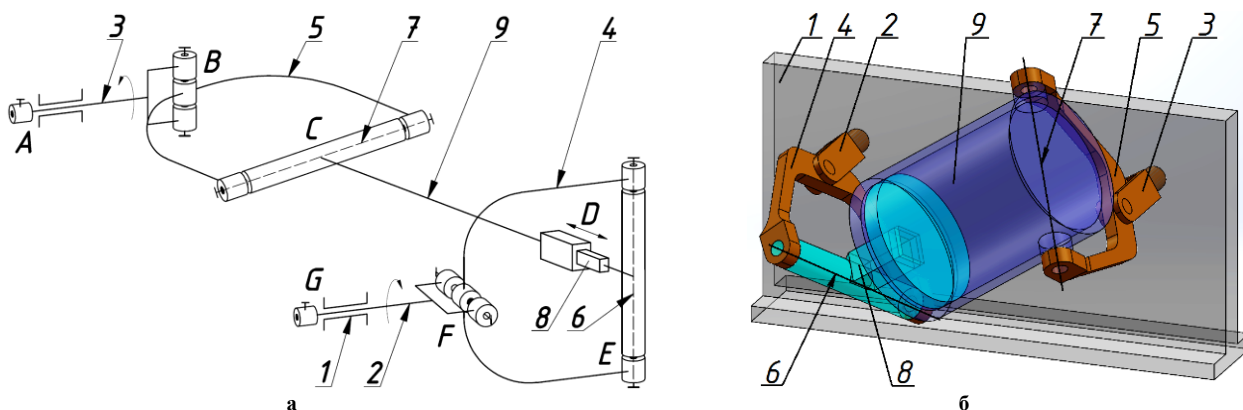


Рис. 1. Конструкція машини з додатковою рухомою ланкою шатуном, якій містить обертальну та поступальну кінематичні пари: а – кінематична схема, б – модель машини

При моделюванні даної конструкції машини у САПР SolidWorks її геометричні параметри приймали аналогічними до геометричних параметрів промислового змішувача «Turbula T10B». Дані геометричні та параметри розробленої машини представлені у таблиці 1.

Слід зазначити, що у такій конструкції машини внаслідок додавання в кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки – шатуна з обертальною та поступальною кінематичними парами виключено пасивний зв'язок, який, як відомо з [15], має негативний вплив на експлуатаційні властивості машини. Після

звільнення від пасивного зв'язку стає можливим змінювати міжосьову відстань робочої ємкості l_{PC} . Таким чином, важливо дослідити, як зміна такого геометричного параметру може впливати на зміну максимальних значень реакцій в кінематичних парах машини, а також при якій міжосьовій відстані робочої ємкості l_{PC} реакції в кінематичних парах машини будуть перевищувати попередньо визначені [16] максимальні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини, що є основою для порівняльного аналізу. Силowe дослідження виконували за допомогою САПР SolidWorks.

У процесі дослідження збільшували міжосьову відстань робочої ємкості l_{PC} та пропорційно їй збільшували міжосьову відстань додаткової рухомої ланки шатуна $l_{ДРЛ}$, дотримуючись сталого відношення 2,2:1 довжини робочої ємкості l_{PC} до довжини шатуна $l_{ДРЛ}$. Паралельно спостерігали за зміною реакцій в кінематичних парах машини, для кожної реакції визначали її екстремальні значення. При цьому, зміна міжосьової відстані робочої ємкості l_{PC} виражалася коефіцієнтом δ , який був раніше запропонований у роботах [9–13]. Коефіцієнт δ для даної конструкції машини розраховувався, як відношення $l_{PC}+l_{ДРЛ}$, що характеризує суму довжин робочої ємкості та шатуна до міжосьової відстані l_B вилки машини (ведучої чи веденої): $\delta = l_{PC}+l_{ДРЛ} / l_B$. Дослідження проводилися для наступних значень коефіцієнту δ : 1,2; 1,4; 1,6.

Таблиця 1

| Геометричний параметр машини | Значення коефіцієнту δ | | |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | 1,2 | 1,4 | 1,6 |
| Діаметр робочої ємкості d_{PC} | 0,318 м | 0,318 м | 0,318 м |
| Довжина (між торцями) робочої ємкості l_C | 0,430 м | 0,480 м | 0,535 м |
| Міжосьова відстань вилки l_B | 0,272 м | 0,272 м | 0,272 м |
| Міжосьова відстань робочої ємкості l_{PC} | 0,330 м | 0,380 м | 0,435 м |
| Об'єм робочої ємкості V_{PC} | 0,032 м ³ | 0,036 м ³ | 0,041 м ³ |
| Маса усіх рухомих деталей машини m_D | 50 кг | 52 кг | 53,2 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) |

Також визначали «граничну» міжосьову відстань робочої ємкості, подальше збільшення якої призведе до значного зросту максимальних значень реакцій у відповідних кінематичних парах, які перевищують значення реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму машини з додатковою рухомою ланкою шатуном, якій містить обертальну та поступальну кінематичні пари представлено на рис. 2.

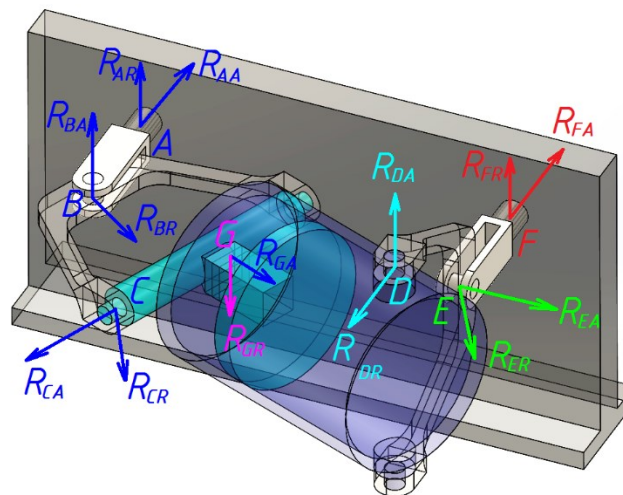


Рис. 2. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму конструкції машини з додатковою рухомою ланкою шатуном, якій містить обертальну та поступальну кінематичні пари

Визначали максимальні значення осьових та радіальних складових повних реакцій R в шести обертальних кінематичних парах п'ятого класу A, B, C, D, E, F та одній поступальній кінематичній парі G : 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 – шатун»; R_{CR} – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведуча вилка – шатун»; R_{DA} – осьова складова реакції в кінематичній парі «ведена вилка – робоча ємність»; R_{DR} – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведена вилка – робоча ємність»; 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 – станина»; R_{FR} – радіальна складова реакції в кінематичній парі «ведений вал – станина»; R_{GA} ,

R_{GR} – складові реакції у кінематичній парі «шатун – робоча ємність».

У таблиці 2 представлено визначені за допомогою САПР SolidWorks максимальні значення реакцій в кінематичних парах досліджуваної конструкції 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 λ , що характеризує відношення $l_{PC+ДРЛ} / l_B$ | | | |
|---|----------------|--|-----|------|------|
| | | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 |
| Значення реакцій в кінематичних парах машини, при її роботі на холостому ході | R_{AA} , [Н] | 88 | 151 | 430 | 455 |
| | R_{FA} , [Н] | 68 | 162 | 430 | 420 |
| | R_{AR} , [Н] | 405 | 481 | 601 | 669 |
| | R_{FR} , [Н] | 608 | 458 | 994 | 1563 |
| | R_{BA} , [Н] | 198 | 122 | 171 | 235 |
| | R_{EA} , [Н] | 124 | 120 | 210 | 345 |
| | R_{BR} , [Н] | 294 | 375 | 459 | 811 |
| | R_{ER} , [Н] | 545 | 459 | 1035 | 1588 |
| | R_{CA} , [Н] | 95 | 118 | 272 | 490 |
| | R_{DA} , [Н] | 194 | 130 | 170 | 300 |
| | R_{CR} , [Н] | 325 | 408 | 769 | 1685 |
| | R_{DR} , [Н] | 342 | 294 | 700 | 1200 |
| | R_{GA} , [Н] | ----- | 275 | 579 | 745 |
| R_{GR} , [Н] | ----- | 127 | 182 | 297 | |

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 (осьові складові реакції) та рис. 4 (радіальні складові реакції).

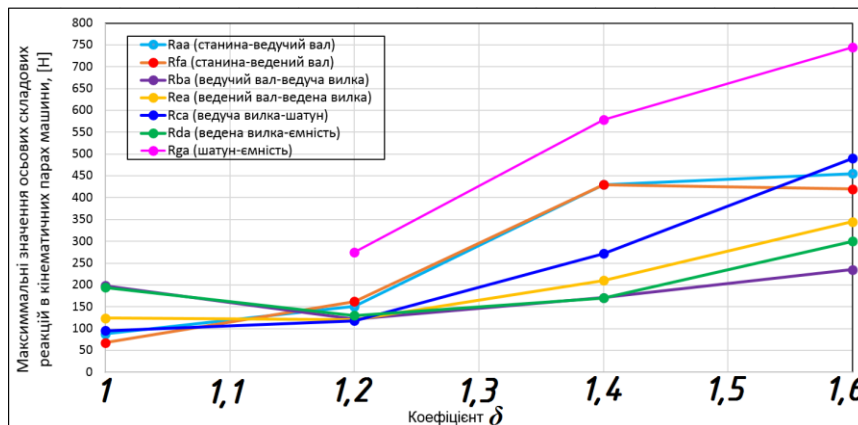


Рис. 3. Залежність максимальних значень осьових складових реакцій в кінематичних парах просторового механізму конструкції машини з додатковою рухомою ланкою шатуном, який містить обертальну та поступальну кінематичні пари від зміни коефіцієнту δ

Проаналізувавши дані, представлені у таблиці 2, а також є графічні залежності на рис. 3 та рис. 4 встановлено, що при коефіцієнті $\delta = 1,2$ реакція R_{FA} по відношенню до реакції у «базовій» конструкції машини збільшилася у 2,4 рази, а середньоарифметичне значення екстремумів реакцій по відношенню до середньоарифметичного значення екстремумів реакцій у «базовій» конструкції машини практично не змінилося.

При досягненні коефіцієнтом $\delta = 1,4$, більшість реакцій в усіх кінематичних парах перевищили відповідні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини, реакція R_{FA} по відношенню до реакції у «базовій» конструкції машини збільшилася у 6,3 рази. Лише реакції R_{BA} та R_{DA} все ще залишалися меншими. При подальшому збільшенні довжини робочої ємності та шатуна ($\delta > 1,6$), значення реакцій в усіх кінематичних парах перевищили відповідні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини.

На основі лінійної інтерполяції максимальних значень реакцій, був зроблений висновок, що конструкцію машини, в якій ведена вилка з'єднана з робочою ємністю за допомогою кінематичної пари 4-го класу, найбільш раціонально використовувати в межах зміни коефіцієнту $\delta = [1,0 - 1,3]$.

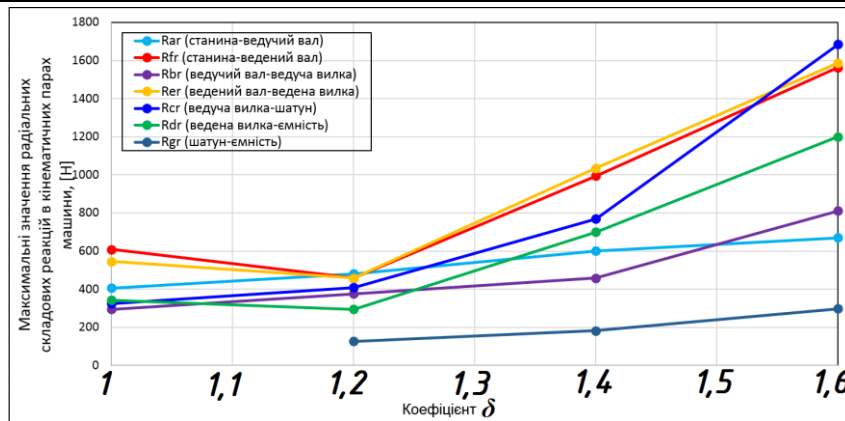


Рис. 4. Залежність максимальних значень радіальних складових реакцій в кінематичних парах просторового механізму конструкції машини з додатковою рухомою ланкою шатуном, який містить обертальну та поступальну кінематичні пари від зміни коефіцієнту δ

Також варто зауважити, що, аналогічно до попередньо досліджуваних конструкцій машин, зберігається характер зміни максимальних значень реакцій у кінематичних парах. Максимальні значення радіальних складових реакцій, при коефіцієнті $\delta=1,2$ зменшилися, після чого відбулося їх подальше різке збільшення. Максимальні значення осьових складових реакцій залишалися майже сталими в діапазоні зміни коефіцієнту $\delta=[1,0 - 1,3]$, далі відбувається вже більш значний їх приріст.

Висновки

Виконано силове дослідження реактивних навантажень в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах галтувальної машини з робочою ємністю зі складним просторовим рухом та змінним об'ємом за допомогою САПР SolidWorks.

Досліджено вплив зміни коефіцієнту δ , який визначається відношенням суми міжосьових відстаней робочої ємності та додаткової рухомої ланки шатуна до ємності до міжосьової відстані ведучої (веденої) вилки машини на максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини.

Встановлено, що досліджувану конструкцію машини раціонально використовувати в діапазоні зміни коефіцієнту $\delta=[1,0 - 1,3]$. При подальшому збільшенні коефіцієнту δ спостерігався значний приріст максимальних значень реакцій в порівнянні з максимальними значеннями реакцій в кінематичних парах «базової» конструкції машини.

Література

1. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих ємностей для обробки полімерних деталей : монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев. – К. : Університет «Україна», 2018. – 228 с.
2. 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.
3. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємності 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.
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 capacity. Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. 2019. Vol. 2 (132). P. 24–32.
5. 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.
6. Першин В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа : монографія / Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. – М. : Машиностроение, 2009. – 220 с.
7. Залюбовський М.Г. Техніко-економічне обґрунтування використання галтувального обладнання типу «Turbula» при виконанні відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2022. – № 3 (309). – С. 92–98.
8. Залюбовський М.Г. Техніко-економічне обґрунтування використання галтувальної машин типу «Turbula» при виконанні полірування поверхні дрібних полімерних виробів / М.Г. Залюбовський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2022. – № 4 (311). – С. 94–99.
9. Залюбовський М.Г. Силове дослідження просторового семиланкового механізму машини для обробки деталей / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 4 (287). – С. 127–133.

10. Залюбовський М.Г. Кінетостатичне дослідження шарнірних просторових механізмів галтувальних машин (частина 1: дослідження механізму з додатковою рухомою ланкою – коромислом) / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев, В.В. Скідан // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2021. – № 1 (154). – С. 9–18.
11. Залюбовський М.Г. Дослідження реакцій у кінематичних парах статично визначеного просторового механізму машини для обробки деталей / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2021. – № 1, том 32 (71). – С. 1–6.
12. Залюбовський М.Г. Машина для обробки деталей з кінематичною парою четвертого класу – кінетостатичне дослідження / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2021. – № 2, том 32 (71). – С. 6–11.
13. Залюбовський М.Г. Кінетостатичне дослідження шарнірних просторових механізмів галтувальних машин (частина 2: дослідження механізму машини з двома робочими ємкостями, що з'єднані поступальною кінематичною парою) / М.Г. Залюбовський, В.В. Скідан // Технології та інжиніринг. – 2021. – № 2. – С. 20–28.
14. Залюбовський М.Г. Машина для обробки деталей з семиланковим просторовим механізмом – синтез та дослідження / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2020. – № 4 (148). – С. 38–47.
15. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов / Решетов Л.Н. – Изд. 2-е, переработ. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 256 с.
16. Залюбовський М.Г. Силове дослідження просторового шестиланкового механізму машини для обробки деталей (частина 1: дослідження при роботі машини на холостому ході) / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2020. – № 5, том 31 (70). – С. 13–18.

References

1. Zaliubovskiy M.H. Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosteï dlia obrobky polimernykh detalei : monohrafiia / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev. – K. : Universytet «Ukraina», 2018. – 228 s.
2. Burmistenkov O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vztutivii ta shkirhalantereinii promyslovosti : monohrafiia / O.P. Burmistenkov, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ie. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnytskyi, 2007. – 255 s.
3. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta ob'emu zapovnennia yemkosti na intensyvniit viddilennia metalevykh detalei vid lvyntykiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2020. – № 1 (142). – S. 27–38.
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 capacity. Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. 2019. Vol. 2 (132). P. 24–32.
5. 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.
6. Pershin V.F. Pererabotka sypuchih materialov v mashinah barabannogo tipa : monografija / Pershin V.F., Odnol'ko V.G., Pershina S.V. – M. : Mashinostroenie, 2009. – 220 s.
7. Zaliubovskiy M.H. Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannia vykorystannia haltuvalnoho obladdannia typu «Turbula» pry vykonanni viddilennia metalevykh detalei vid lvyntykiv / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2022. – № 3 (309). – S. 92–98.
8. Zaliubovskiy M.H. Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannia vykorystannia haltuvalnoi mashyn typu «Turbula» pry vykonanni poliruvannia poverkhni dribnykh polimernykh vyrobiv / M.H. Zaliubovskiy // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2022. – № 4 (311). – S. 94–99.
9. Zaliubovskiy M.H. Sylove doslidzhennia prostорового semyllankovoho mekhanizmu mashyny dlia obrobky detalei / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2020. – № 4 (287). – S. 127–133.
10. Zaliubovskiy M.H. Kinetostatychne doslidzhennia sharnirnykh prostоровykh mekhanizmiv haltuvalnykh mashyn (chastyna 1: doslidzhennia mekhanizmu z dodatkovoiu rukhomoiu lankoiu – koromyslom) / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev, V.V. Skidan // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. – 2021. – № 1 (154). – S. 9–18.
11. Zaliubovskiy M.H. Doslidzhennia reaktsii u kinematychnykh parakh statychno vyznachenoho prostорового mekhanizmu mashyny dlia obrobky detalei / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: tekhnichni nauky. – 2021. – № 1, tom 32 (71). – S. 1–6.
12. Zaliubovskiy M.H. Mashyna dlia obrobky detalei z kinematychnoiu paroiu chetvertogo klasu – kinetostatychne doslidzhennia / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: tekhnichni nauky. – 2021. – № 2, tom 32 (71). – S. 6–11.
13. Zaliubovskiy M.H. Kinetostatychne doslidzhennia sharnirnykh prostоровykh mekhanizmiv haltuvalnykh mashyn (chastyna 2: doslidzhennia mekhanizmu mashyny z dvoma robochymy yemkostyamy, shcho ziednani postupalnoiu kinematychnoiu paroiu) / M.H. Zaliubovskiy, V.V. Skidan // Tekhnolohii ta inzhynirynh. – 2021. – № 2. – S. 20–28.
14. Zaliubovskiy M.H. Mashyna dlia obrobky detalei z semyllankovym prostоровym mekhanizmom – syntez ta doslidzhennia / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – № 4 (148). – S. 38–47.
15. Reshetov L.N. Konstruirovaniye racional'nykh mekhanizmiv / Reshetov L.N. – Izd. 2-е, pererabot. i dop. – M. : Mashinostroenie, 1972. – 256 s.
16. Zaliubovskiy M.H. Sylove doslidzhennia prostорового shestylankovoho mekhanizmu mashyny dlia obrobky detalei (chastyna 1: doslidzhennia pry roboti mashyny na kholostomu khodi) / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: tekhnichni nauky. – 2020. – № 5, tom 31 (70). – S. 13–18.