

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.

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

ПАНАСЮК І. В.

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

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕЯКИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ З ДВОМА РОБОЧИМИ ЄМКОСТЯМИ, ЩО З'ЄДНАНІ МІЖ СОБОЮ ОБЕРТАЛЬНОЮ КІНЕМАТИЧНОЮ ПАРОЮ

Запропоновано просторовий статично визначений механізм галтувальної машини типу «Turbula» без наявності пасивного зв'язку у її кінематичному ланцюзі. Таку конструкцію машини реалізовано за рахунок введення у кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки – другої робочої ємкості. Експлуатація даної конструкції 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. Описано принцип роботи механізму та машини. Виконані аналітичні дослідження основних геометричних та конструктивних параметрів галтувальної машини з двома робочими ємкостями, що, в цілому, забезпечують її раціональне функціонування. Встановлено взаємозв'язок між геометричними параметрами рухомих ланок машини та зміною амплітуди їх переміщень. Зокрема, отримані математичні залежності, які дають можливість розрахувати амплітуду зміни кута між осями двох ємкостей, а також амплітуду зміни відстані між взаємно перпендикулярними геометричними вісями кріплення вилок до робочих ємкостей. Отримані результати аналітичних досліджень можуть бути використані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

Ключові слова: пасивний зв'язок, кінематичний ланцюг, шатун, галтування, робоча ємкість.

MARK ZALUBOVSKIY

Open International University of Human Development "Ukraine"

IGOR PANASYUK

Kyiv National University of Technology and Design

ANALYTICAL INVESTIGATION OF SOME CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF A HOLDING MACHINE WITH TWO WORKING CAPACITIES CONNECTED BETWEEN EACH OTHER

The disadvantages of using machine mechanisms in the kinematic circuits of which contain a passive connection are described. A three-dimensional statically defined mechanism of the "Turbula" type machine without the presence of a passive connection in its kinematic circuit is proposed. This design of the machine is realized due to the introduction into the kinematic circuit of an additional moving link - the second working capacity. Operation of this design of the car allows to increase productivity of processing of details considerably due to the fact that there is a possibility on one car to carry out two different technological operations at the same time or to process two parties of various details at the same time. The principle of operation of the mechanism and the machine is described. Analytical researches of the basic geometrical and constructive parameters of the galvanizing machine with two working capacities which, as a whole, provide its rational functioning are executed. The relationship between the geometric parameters of the moving parts of the machine and the change in the amplitude of their movements. In particular, mathematical dependences are obtained, which make it possible to calculate the amplitude of the angle change between the axes of two tanks, as well as the amplitude of the distance change between mutually perpendicular geometric axes of the forks to the working tanks. The operation of this machine design will significantly increase the productivity of machining parts due to the fact that it is possible to perform two different technological operations on one machine or simultaneously process two batches of different parts. The obtained results of analytical researches can be used in the corresponding design bureaus of the machine-building enterprises at a stage of designing of the galting equipment with difficult spatial movement of working capacities.

Keywords: passive connection, kinematic circuit, connecting rod, shunting, working capacity.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Окремим типом механічної обробки деталей (металевих чи полімерних) являються фінішні галтувальні технологічні операції [1]. До таких галтувальних технологічних операцій прийнято відносити відділення деталей від ливників [2, 3] з подальшою їх сепарацією, покращення якості поверхні виробів [4] (шліфування, полірування чи гляндювання), подрібнення, очищення металевих деталей від утворення продуктів корозії тощо.

Дані технологічні операції виконуються із застосуванням спеціального галтувального обладнання із рухомими ємкостями. Також відоме успішне використання такого обладнання і для технологічних процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин [5]. Ємкості можуть виконувати різний характер руху – простий обертальний [6] (з одним ступенем свободи), вібраційний [7], а також складний просторовий рух [8] (декілька ступенів свободи).

Рядом проведених досліджень [9] було встановлено, що значного збільшення продуктивності виконання галтувальних технологічних операцій та одночасного зменшення енерговитрат можна досягнути при застосуванні саме машин зі складним просторовим рухом робочих емкостей, у яких забезпечується реалізація турбулентного водоспадного режиму руху робочого середовища.

Але, у переважній більшості, такі типи обладнання зі складним просторовим рухом робочих емкостей мають суттєвий недолік – у структурі їх просторових механізмів зазвичай наявним є пасивний зв'язок [10]. Наявність пасивного зв'язку у кінематичних ланцюгах просторових механізмів має ряд негативних факторів, які впливають на зменшення довговічності обладнання, погіршують його експлуатаційні характеристики.

Таким чином, авторами були розроблені галтувальні машини [11, 12] у просторових механізмах яких виключено вплив пасивних зв'язків. Однією з таких розроблених машин є галтувальна машина зі складним просторовим рухом двох емкостей, які з'єднані між собою обертальною кінематичною парою [13].

Однак, враховуючи особливості складного просторового механізму з обертальними кінематичними парами, до теперішнього часу не проведені достеменні дослідження геометричних та конструктивних параметрів даної розробленої галтувальної машини.

Аналіз досліджень та публікацій

Незважаючи на безумовні переваги обладнання зі складним просторовим рухом робочих емкостей, кінематичні ланцюги просторових механізмів таких машин характеризуються надзвичайною складністю своєї будови [14] та значною трудоемкістю їх синтезу та аналізу.

У роботах [11–13] було зазначено, що звільнитися від впливу пасивного зв'язку можна двома способами: додавши у кінематичний ланцюг просторового механізму додаткову рухому ланку або замінивши одну з кінематичних пар п'ятого класу на кінематичну пару четвертого класу. У обох випадках буде збільшено ступінь рухомості просторового механізму на одиницю без збільшення кількості ведучих ланок.

Таким чином, були розроблені конструкції галтувальних машин з двома рухома з'єднаними між собою робочими емкостями із використанням поступальної [13] та обертальної кінематичних пар. У результаті такої розробки з'являється можливість проводити обробку двох партій різних деталей або реалізувати два окремих типи галтувальних технологічних операцій. Відомі й інші типи розробленого авторами галтувального обладнання: машини з додатковою рухома ланкою кривошипом [15], із кінематичною парою 4-го класу [16].

Виділення невирішених частин

Приймаючи до уваги попередньо-проведені комплексні дослідження конструктивних та геометричних параметрів, до теперішнього часу залишається значна кількість невирішених питань. Зокрема, для можливості повноцінного раціонального проектування такого типу галтувальної машини з двома робочими емкостями, що з'єднані між собою обертальною кінематичною парою необхідно отримати вирази для визначення зміни кута нахилу між повздовжніми осями обох робочих емкостей, амплітуди переміщення деяких ланок тощо.

Формулювання цілей

Суть даної роботи полягає у визначенні відповідних конструктивних та геометричних параметрів галтувальної машини зі складним рухом робочих емкостей, які рухома з'єднані між собою за допомогою обертальної кінематичної пари.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо «базову» конструкцію машини [8] зі складним просторовим рухом робочої емкості у кінематичному ланцюзі якої наявним є пасивний зв'язок. Кінематична схема просторового механізму машини представлена на рис. 1. а, модель машини – на рис. 1. б

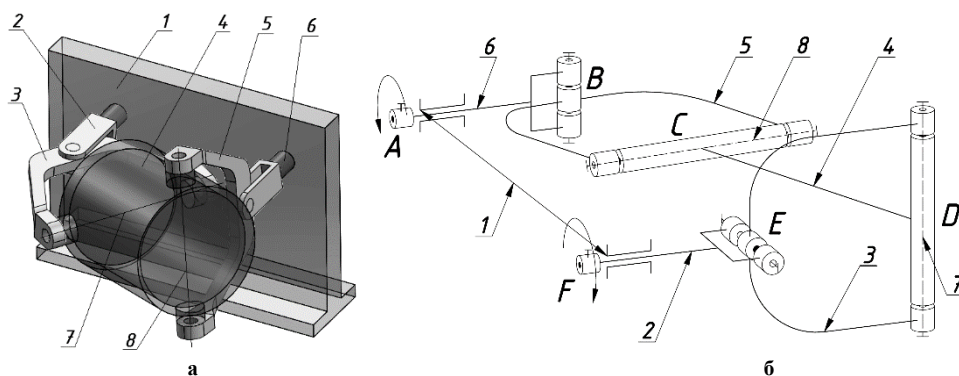


Рис. 1. «Базова» конструкція машини зі складним просторовим рухом робочої емкості у кінематичному ланцюзі якої наявним є пасивний зв'язок: а – кінематична схема, б – модель машини,

Машина містить станину 1, вали – ведучий 2 та ведений 6, котрі встановлені в станині паралельно в одній площині та з'єднані між собою подвійним просторовим шарніром, що виконаний у вигляді ведучої вилки 3, веденої вилки 5 та проміжної ланки 4 (робочої ємкості), закріпленої між вилками на діаметрально взаємно перпендикулярних геометричних осях 7 та 8 відповідно. Рухомі ланки машини утворюють собою просторовий шестиланковий механізм з обертальними кінематичними парами, ланка 4 виконує складний просторовий рух. Згідно формули Сомова-Малишева [17] встановлено ступінь рухомості механізму:

$$W = 6n - \sum_{s=1}^{s=5} (6-s)p_s = 0, \quad (1)$$

де n – кількість рухомих ланок, p_s – кількість рухомих кінематичних пар s – класу.

Як зазначалося вище, а також відповідно до виразу (1) механізм має нульовий ступінь рухомості, а отже не здатний функціонувати. Незважаючи на це, при задоволенні чітких геометричних співвідношень довжин ланок [9, 11–13], а також при забезпеченні посадок із гарантованим зазором у кінематичних парах просторового механізму, він здатен функціонувати.

У свою чергу, експлуатація машини у кінематичному ланцюзі якої наявним є пасивний зв'язок може призвести до ряду недоліків. Наприклад, при роботі такого просторового механізму машини, при незначній деформації однієї з ланок, може виникнути його заклинювання, як наслідок він одразу виходить з ладу. Крім того, деталі рекомендовано виготовляти за допусками з підвищеною точністю. За рахунок цього, собівартість такого обладнання значно підвищується, а термін експлуатації може різко знизитися.

Відштовхуючись від інформації викладеної вище, було розроблено конструкцію гальувальної машини з двома робочими ємкостями, які рухомо з'єднані між собою за допомогою обертальної кінематичної пари. На рис. 2. а представлено модель розробленої машини, а на рис. 2. б – кінематичну схему.

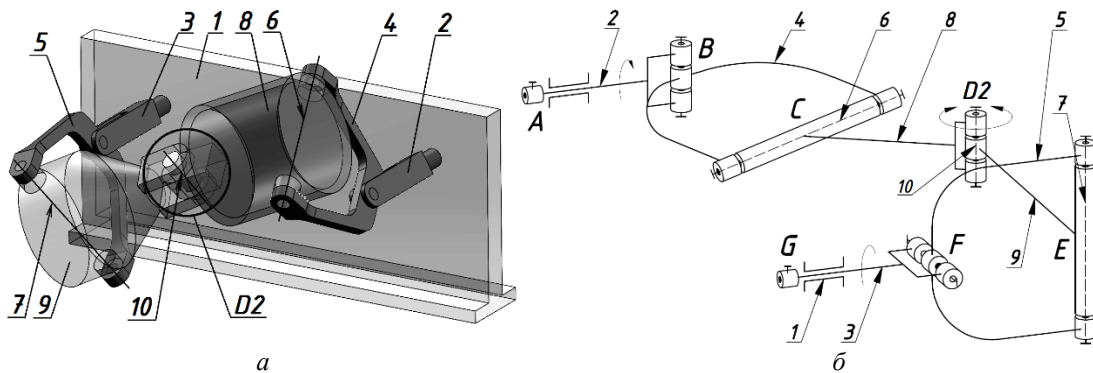


Рис. 2. Розроблена конструкція гальувальної машини з двома робочими ємкостями, які рухомо з'єднані між собою за допомогою обертальної кінематичної пари: а – модель машини, б – кінематична схема

Детальний опис конструкції розробленої машини та принцип її роботи представлений у роботі [13].

Аналогічно до конструкції просторового механізму машини, дослідження якої представлено у роботі [11], у процесі експлуатації машини з двома робочими ємкостями, що з'єднані між собою обертальною кінематичною парою буде циклічно змінюватися значення кута α , що утворюється між осями ємкостей. При положенні рухомих ланок, які представлені на рис. 3 значення кута α буде максимальним α_{MAX} , а при положенні рухомих ланок, яке представлено на рис. 4 значення кута α буде мінімальним α_{MIN} . Позначення на рис. 3 та рис. 4 співпадають із позначеннями на рис. 2.

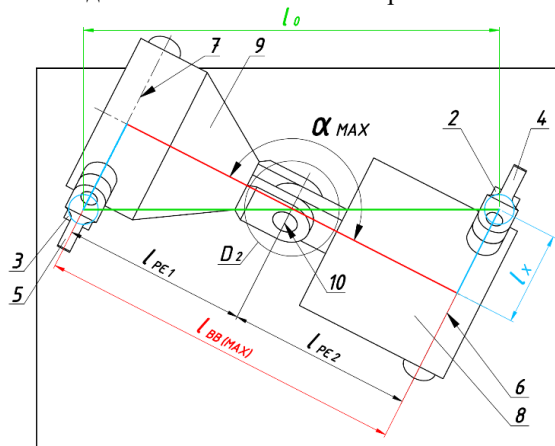


Рис. 3. Положення рухомих ланок машини, при яких утворюється максимальне значення кута α_{MAX}

Амплітуду зміни кута α_A можна розраховувати наступним чином:

$$\alpha_A = \alpha_{MAX} - \alpha_{MIN}. \quad (2)$$

Для визначення амплітуди $l_{A(BB)}$ між взаємно перпендикулярними геометричними вісями кріплення вилки до робочих ємностей можна використати вираз:

$$l_{A(BB)} = l_{BB(MAX)} - l_{BB(MIN)} \quad (3)$$

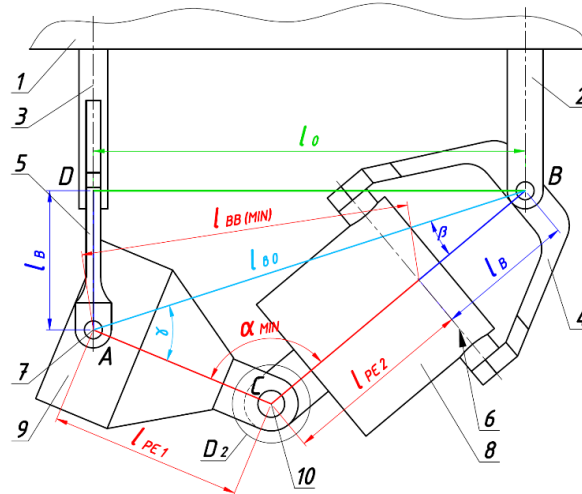


Рис. 4. Положення рухомих ланок машини, при яких утворюється мінімальне значення кута α_{MIN}

Відстань l_0 між осями ведучого та веденого валів, виходячи з геометричних міркувань (рис. 3) можна визначити наступним чином:

$$l_0 = \sqrt{l_{BB(MAX)}^2 + 4(l_B \cos 45^\circ)^2} \quad (4)$$

Запишемо вираз для розрахунку максимальної відстані між геометричними осями кріплення вилки до ємностей $l_{BB(MAX)}$:

$$l_{BB(MAX)} = 2l_{PC(розрах.)} \quad (5)$$

де $l_{PC(розрах.)}$ – розрахункова міжосьова відстань робочої ємності.

Вираз (4), з урахуванням (5), матиме вигляд:

$$l_0 = 2\sqrt{l_{PC(розрах.)}^2 + (l_B \cos 45^\circ)^2} \quad (6)$$

У процесі подальшого конструювання чи експлуатації даної конструкції машини можуть бути використані робочі ємності зі збільшеною міжосьовою відстанню. Довжини таких ємностей позначали $l_{PC(прийн.)}$.

Якщо $l_{PC(прийн.)} = l_{PC(розрах.)}$, то $\alpha_{MAX} = 180^\circ$, однак, якщо $l_{PC(прийн.)} > l_{PC(розрах.)}$, тоді:

$$\alpha_{MAX} = \arccos\left(\frac{2l_{PC(прийн.)}^2 - l_{BB(MAX)}^2}{2l_{PC(прийн.)}}\right) \quad (7)$$

α_{MIN} , в незалежності від того, прийнято $l_{PC(прийн.)}$ чи $l_{PC(розрах.)}$, буде розраховуватися наступним чином:

$$\alpha_{MIN} = \arccos\left(\frac{l_{PC(прийн./розрах.)}^2 + (l_{PC(прийн./розрах.)} + l_B)^2 - l_{BO}^2}{2l_{PC(прийн./розрах.)}(l_{PC(прийн./розрах.)} + l_B)}\right) \quad (8)$$

де l_{BO} – відстань від центру обертання обертальної кінематичної пари веденого (ведучого) валу з вилкою до вісі з'єднання веденої (ведучої) вилки з робочою ємністю, при положенні рухомих ланок машини, що представлені на рис. 4.

Відстань l_{BO} можна визначити з геометричної побудови на рис. 4, зокрема, із утвореного трикутника ABC :

$$l_{BO} = \sqrt{l_0^2 + l_B^2} \quad (9)$$

Підставимо у рівняння (9) вираз (6):

$$l_{BO} = \sqrt{l_B^2 + 4(l_{PC(розрах.)}^2 + (l_B \cos 45^\circ)^2)} \quad (10)$$

Запишемо вираз (8) з урахуванням (10):

$$\alpha_{MIN} = \arccos\left(\frac{l_{PC(прийн./розрах.)}^2 + (l_{PC(прийн./розрах.)} + l_B)^2 - l_B^2 - 4(l_{PC(розрах.)}^2 + (l_B \cos 45^\circ)^2)}{2l_{PC(прийн./розрах.)}(l_{PC(прийн./розрах.)} + l_B)}\right) \quad (11)$$

Після арифметичних перетворень, вираз (11) буде мати вигляд:

$$\alpha_{MIN} = \arccos\left(\frac{l_{PC(прийн./розрах.)}^2 + l_{PC(прийн./розрах.)}l_B - 2l_{PC(розрах.)}^2 + 2(l_B \cos 45^\circ)^2}{l_{PC(прийн./розрах.)}(l_{PC(прийн./розрах.)} + l_B)}\right) \quad (12)$$

Далі, запишемо вирази для розрахунку α_A (коли $l_{PC(прийн.)} = l_{PC(розрах.)}$ та коли $l_{PC(прийн.)} > l_{PC(розрах.)}$), при цьому підставивши рівняння (7) та (12) у вираз (2):

$$\alpha_A = 180^\circ - \arccos\left(\frac{l_{PC(розрах.)}^2 + l_{PC(розрах.)}l_B - 2l_{PC(розрах.)}^2 + 2(l_B \cos 45^\circ)^2}{l_{PC(розрах.)}(l_{PC(розрах.)} + l_B)}\right). \quad (13)$$

Рівняння (13) актуальне для тих випадків, коли $l_{PC(прийн.)} = l_{PC(розрах.)}$.

$$\alpha_A = \arccos\left(\frac{2l_{PC(прийн.)}^2 - l_{BB(MAX)}^2}{2l_{PC(прийн.)}}\right) - \arccos\left(\frac{l_{PC(розрах.)}^2 + l_{PC(розрах.)}l_B - 2l_{PC(розрах.)}^2 + 2(l_B \cos 45^\circ)^2}{l_{PC(розрах.)}(l_{PC(розрах.)} + l_B)}\right). \quad (14)$$

За рівнянням (14) можна розрахувати амплітуду коливання α_A в тих випадках, коли $l_{PC(прийн.)} > l_{PC(розрах.)}$.

Далі, на основі геометричної побудови у вертикальній проекції машини (рис. 4), запишемо вираз для визначення $l_{BB(MIN)}$:

$$l_{BB(MIN)} = \sqrt{2l_{PC(прийн./розрах.)}^2 - 2l_{PC(прийн./розрах.)}^2 \cos \alpha_{MIN}}. \quad (15)$$

Рівняння (15), з урахуванням (14), буде мати вигляд:

$$l_{BB(MIN)} = \sqrt{2l_{PC(прийн./розрах.)}^2 - 2l_{PC(прийн./розрах.)}^2 \cos\left(\frac{l_{PC(прийн./розрах.)}^2 + l_{PC(прийн./розрах.)}l_B - 2l_{PC(розрах.)}^2 + 2(l_B \cos 45^\circ)^2}{l_{PC(прийн./розрах.)}(l_{PC(прийн./розрах.)} + l_B)}\right)}. \quad (16)$$

Далі, запишемо вираз (3) для розрахунку $l_{A(BB)}$ з урахуванням рівнянь (5) та (16):

$$l_{A(BB)} = 2l_{PC(розрах.)} - \sqrt{2l_{PC(прийн./розрах.)}^2 - 2l_{PC(прийн./розрах.)}^2 \cos\left(\frac{l_{PC(прийн./розрах.)}^2 + l_{PC(прийн./розрах.)}l_B - 2l_{PC(розрах.)}^2 + 2(l_B \cos 45^\circ)^2}{l_{PC(прийн./розрах.)}(l_{PC(прийн./розрах.)} + l_B)}\right)}. \quad (17)$$

Із застосуванням рівняння (17), на основі відповідних вихідних геометричних параметрів можна розрахувати амплітуду зміни відстані між взаємно перпендикулярними геометричними вісями кріплення вилок до робочих ємкостей, а із використанням виразів (13) та (14) – амплітуду зміни кута між осями двох ємкостей.

Окрім того, експлуатація даної конструкції машини дозволить 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.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. Аналітичним шляхом виконані дослідження деяких конструктивних та геометричних параметрів семиланкового статично визначеного просторового механізму машини з двома робочими ємкостями, які з'єднані між собою обертальною кінематичною парою.
2. Встановлено взаємозв'язок між відповідними геометричними параметрами рухомих ланок машини та зміною амплітуди їх взаємного переміщення.
3. Отримані математичні залежності, які дають можливість розрахувати амплітуду зміни кута між осями двох ємкостей, а також амплітуду зміни відстані між взаємно перпендикулярними геометричними вісями кріплення вилок до робочих ємкостей.

Література

1. Залюбовський М.Г. Перспективні галузеві та змішувальні технологічні процеси у машині типу «Turbula» / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки – 2021. – № 3, том 32 (71). – С. 6–11.
2. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу геометрії металевих відливок деталей замка «блискавка» на особливості їх обробки в галузевій машині / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2020. – №2 (144). – С. 24–32.
3. 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.
4. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24–32.
5. Marigo M., Cairns D. L., Davies M., Ingram A., Stitt E. H. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Powder Technology 212 (2011), pp. 17–24.
6. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ : учебное пособие для рабочего образования / Шварц А.И. – М. : Химия, 1987. – 176 с.

7. Шумакова Т. А. Инструмент для виброобразивной обработки деталей : монография / Т. А. Шумакова, В. И. Шаповалов, Ю. И. Гутько ; Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. – Луганск : Ноулидж, 2011. – 59 с.
8. Willy A. Bachofen (WAB): Maschinenfabrik. 2021. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (25.12.2021).
9. Залюбовський М.Г. Машини зі складним рухом робочих емкостей для обробки полімерних деталей : монографія / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев. – К. : Університет «Україна», 2018. – 228 с.
10. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов / Решетов Л.Н. – Изд. 2-е, переработ. и доп. – М. : Машиностроение, 1972. – 256 с.
11. 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*, 56, issue 1, April 2020, 54–64.
12. 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. 178, issue 4, 69–75.
13. 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*, 56, issue 6, November 2020, 762–772.
14. Мудров А.Г. Исследование пространственных механизмов с особой структурой / А.Г. Мудров // Вестник Казанского ГАУ. – 2019. – № 2 (53). – С. 111–116.
15. Залюбовський М.Г. Синтез та аналітичне дослідження геометричних параметрів статично визначеного просторового шарнірного механізму галтувальної машини / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2020. – № 5 (150). – С. 24–30.
16. 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.
17. Артоболевский И.И. Теория машин и механизмов / Артоболевский И.И. – М. : Наука, 1988. – 640 с.

References

1. Zaliubovskiy M.H. Perspektivni haltvalni ta zmishuvalni tekhnolohichni protsesy u mashyni typu «Turbula» / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky – 2021. – № 3, tom 32 (71). – S. 6–11.
2. Zaliubovskiy M.H. Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu heometrii metalevykh vidlyvok detalei zamka «blyskavka» na osoblyvosti yikh obrobky v haltvalnii mashyni / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – №2 (144). – S. 24–32.
3. Burmistenkova O.P. Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzztievii ta shkirhalantereinii promyslovosti : monohrafiia / O.P. Burmistenkova, B.M. Zlotenko, V.P. Konoval, I.V. Panasiuk, M.Ye. Skyba, O.M. Syniuk. – Khmelnytskyi, 2007. – 255 с.
4. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2 (132). – P. 24–32.
5. Marigo M., Cairns D. L., Davies M., Ingram A., Stitt E. H. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. *Powder Technology* 212 (2011), pp. 17–24.
6. Shvarc A.I. Mehanizatsiya i avtomatizatsiya proizvodstva formovykh RTI : uchebnoe posobie dlya rabocheho obrazovaniya / Shvarc A.I. – M. : Himiya, 1987. – 176 s.
7. Shumakova T. A. Instrument dlya vibroobrazivnoy obrabotki detalei : monografiya / T. A. Shumakova, V. I. Shapovalov, Yu. I. Gutko ; Vostochnoukr. nac. un-t im. V. Dallya. – Lugansk : Noulidzh, 2011. – 59 с.
8. Willy A. Bachofen (WAB): Maschinenfabrik. 2021. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (25.12.2021).
9. 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.
10. Reshetov L.N. Konstruyrovanye ratsyonalnykh mekhanyzmov / Reshetov L.N. – Yzd. 2-e, pererabot. y dop. – M. : Mashynostroenye, 1972. – 256 s.
11. 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*, 56, issue 1, April 2020, 54–64.
12. 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. 178, issue 4, 69–75.
13. 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*, 56, issue 6, November 2020, 762–772.
14. Мудров А.Г. Исследование пространственных механизмов с особой структурой / А.Г. Мудров // Вестник Казанского ГАУ. – 2019. – № 2 (53). – С. 111–116.
15. Zaliubovskiy M.H. Syntez ta analitychne doslidzhennia heometrychnykh parametriv statychno vyznachenoho prostorovoho sharnirnogo mekhanizmu haltvalnoi mashyny / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – 2020. – № 5 (150). – S. 24–30.
16. Zaliubovskiy M.H. Mashyna dlia obrobky detalei z kinematychnoiu paroiu chetvertogo klasu – kinetostatychno doslidzhennia / M.H. Zaliubovskiy, I.V. Panasiuk, V.V. Malyshev // Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky – 2021. – № 2, tom 32 (71). – S. 6–11.
17. Artobolevskiy Y.Y. Teoriya mashyn y mekhanyzmov / Artobolevskiy Y.Y. – M. : Nauka, 1988. – 640 s.