

УДК 621.924.7

ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.¹, ПАНАСЮК І. В.², МАЛИШЕВ В. В.¹

¹Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

²Київський національний університет технологій та дизайну

МАШИНА ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З СЕМИЛАНКОВИМ ПРОСТОРОВИМ МЕХАНІЗМОМ - СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета. Синтез семиланкового просторового статично визначеного механізму без надлишкового (пасивного) зв'язку з додатковою рухомою ланкою машини для обробки деталей з подальшим аналітичним дослідженням його основних конструктивних та геометричних параметрів.

Методика. Використано аналітичний метод дослідження на основі геометричного та структурного синтезу просторового статично визначеного семиланкового механізму з додатковою рухомою ланкою без надлишкового зв'язку машини для обробки деталей, виконано 3D моделювання машини в системі автоматизованого проектування SolidWorks 2016.

Результати. На основі структурного синтезу запропоновано конструкцію семиланкового просторового статично визначеного механізму з додатковою рухомою ланкою машини для обробки деталей, у кінематичному ланцюзі просторового механізму відсутній надлишковий зв'язок, виконано 3D моделювання машини в системі автоматизованого проектування SolidWorks 2016. Проведено аналітичні дослідження основних геометричних та конструктивних параметрів розробленої машини.

Наукова новизна. Встановлено взаємозв'язок між різними геометричними параметрами просторового статично визначеного семиланкового механізму, що дає можливість розрахувати раціональні співвідношення довжин ланок механізму для забезпечення безперешкодного функціонування машини без заклинювання її просторового механізму.

Практична значимість. Розроблено нову конструкцію машини для обробки деталей, в основі якої використовується семиланковий просторовий статично визначений механізм з додатковою рухомою ланкою без надлишкового зв'язку. Отримані математичні залежності для розрахунку її основних конструктивних та геометричних параметрів. Дані залежності можуть бути використані відповідними машинобудівними підприємствами на стадії проектування такого типу обладнання.

Ключові слова: надлишковий зв'язок, семиланковий просторовий механізм, зворотно-поступальне переміщення, робоча ємкість.

Вступ. Відомі три способи [1] очищення поверхонь деталей та покращення їх якості: з використанням ручної праці або засобів малої механізації, однак такий спосіб є малоефективним, потребує значного часу та робочого потенціалу; із застосуванням універсальних пристроїв (токарні, фрезерувальні, свердлильні та шліфувальні верстати), такий спосіб застосовують при виготовленні деталей, де необхідне зняття точно визначеної величини припуску; при обробці деталей технологічним середовищем в рухомих робочих ємкостях [2]. Таким способом обробляються деталі, для яких відсутні вимоги щодо зняття точно визначеної величини припуску з їх оброблюваної поверхні. Таким методом, наприклад, виконується відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників [3, 4], при використанні холодоагентів, реалізується відділення від ливників відлитих деталей взуття [5], виконуються технологічні процеси шліфування [6] та полірування [7, 8], як металевих, так і полімерних деталей тощо. При цьому використовують сухе та вологе галтування відповідно.

Для реалізації вищезгаданих технологічних операцій використовують різні типи галтувального обладнання. Серед різних типів обладнання, перспективним вважаються машини [9, 10], робочі ємкості яких виконують складний просторовий рух [11]. В таких машинах робоча ємкість виконує одночасне переміщення відносно трьох взаємно перпендикулярних площин, а також обертається навколо власної осі. Такий рух робочої ємкості сприяє підвищенню інтенсивності руху технологічного середовища. В результаті чого досягається значне підвищення продуктивності виготовлення деталей з одночасним зменшенням енерговитрат.

Постановка завдання. Відома [12] «базова» конструкція машини зі складним рухом робочої ємкості, яка, зі структурної точки зору, представляє собою шестиланковий просторовий механізм з обертальними кінематичними парами. Такий просторовий механізм має свої особливості – в його структурі наявним є надлишковий (пасивний) зв'язок, який негативно впливає на довговічність та експлуатаційні характеристики механізму. Встановлено [13], що механізм може функціонувати лише при дотриманні співвідношень довжин його ланок з високою точністю. Під час роботи механізму, навіть при незначній деформації однієї з ланок, може виникнути його заклинювання, як наслідок він одразу виходить з ладу. Крім того, деталі потрібно виготовляти за допусками з підвищеною точністю. За рахунок цього, собівартість такого обладнання значно підвищується, а термін експлуатації знижується.

Таким чином, синтез та аналітичне дослідження конструктивних особливостей просторових механізмів галтувальної машини, в кінематичному ланцюзі яких відсутній надлишковий зв'язок, є актуальною задачею на сьогоднішній день, що потребує вирішення.

Результати дослідження. У роботі [14] було розглянуто «базову» конструкцію машини, в якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Рухомі ланки цієї машини утворюють собою просторовий шестиланковий механізм з обертальними кінематичними парами. Кінематична схема просторового механізму «базової» конструкції механізму машини та її модель створена за допомогою САПР SolidWorks представлено на рис. 1 а та б відповідно.

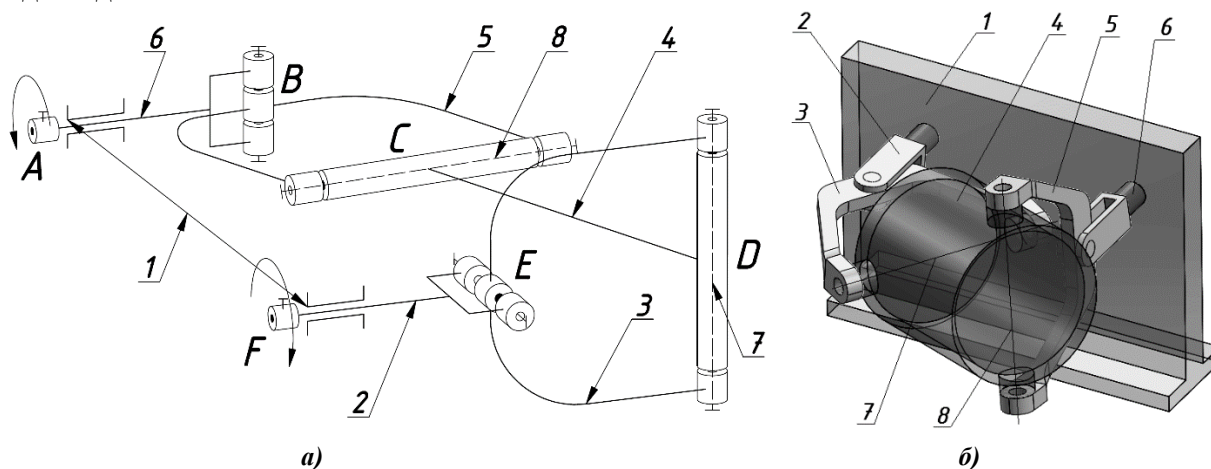


Рис. 1. а – кінематична схема «базової» конструкції механізму, б – модель машини

Машина містить станину 1, ведучий 2 та ведений 6 вали, 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 робочої ємкості 4, 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, який являє собою замкнений кінематичний ланцюг ABCDEF, вісі А та F паралельні між собою, а вісі А і В, В і С, С і D, D і Е, Е і F перпендикулярні між собою відповідно.

Використовуючи формулу Сомова-Малишева [15] для визначення ступеня рухомості механізму, встановлено, що він буде дорівнювати нулю:

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

де n – кількість рухомих ланок (5 ланок: ведучий 1 та ведений 6 вали, ведуча 3 та ведена 5 вилки, робоча ємкість 4), p_s – кількість рухомих кінематичних пар s – класу (6 кінематичних пар 5-го класу: А, В, С, D, Е, F).

Відомо [1], що звільнитися від дії надлишкового зв'язку можна на основі введення в кінематичний ланцюг механізму додаткової рухомої ланки або на основі заміни однієї з кінематичних пар 5-го класу на кінематичну пару 4-го класу. Таким чином, було синтезовано семиланковий просторовий механізм машини [16], в якому введено додаткову рухому ланку, яка за допомогою обертальної кінематичної пари з'єднана з ведучою вилкою, а також за допомогою поступальної кінематичної пари з'єднана з робочою ємкістю. Таким чином, додаткова рухoma ланка, виконує зворотно-поступальне переміщення в середині робочої ємкості. В результаті чого, в процесі роботи машини, буде циклічно змінюватися її об'єм. На рис. 2а представлено кінематичну схему синтезованого механізму, на рис. 2б – модель розробленої машини, яка створена за допомогою САПР SolidWorks.

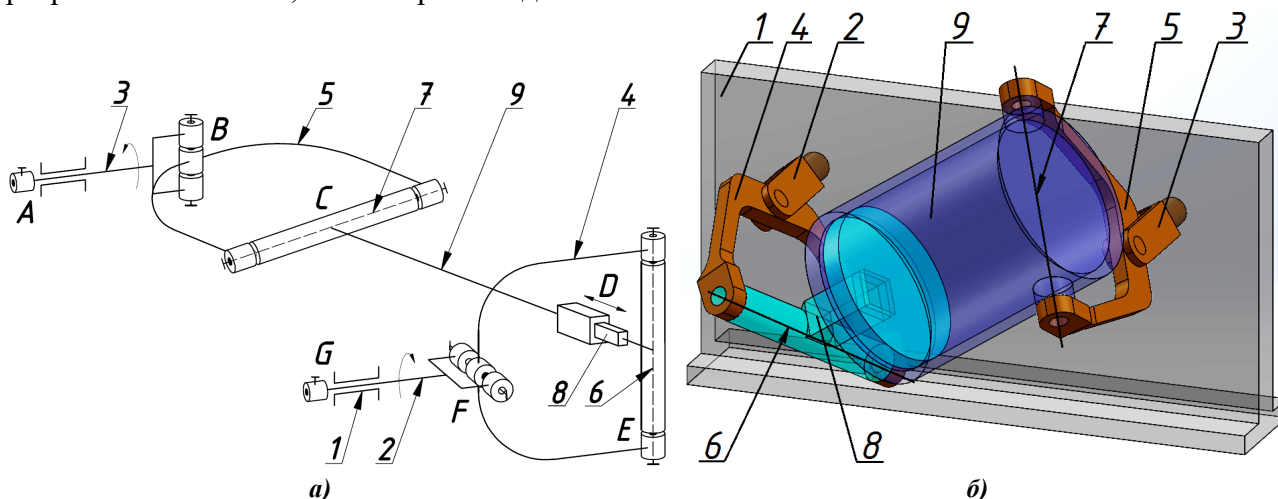


Рис. 2. а – кінематична схема синтезованого механізму, б – модель машини

Машина для обробки деталей містить станину 1, ведучий 2 та ведений 3 вали, що встановлені в підшипникових опорах станині паралельно в одній площині. Ведучий 2 та ведений 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучою вилкою 4 та веденою вилкою 5

відповідно, діаметрально взаємно перпендикулярні вісі яких 6 і 7 є вісями кріплення додаткової рухомої ланки 8 та робочої ємкості 9 відповідно. Додаткова рухома ланка 8, що представляє собою поршень, який за допомогою поступальної кінематичної пари D рухомо з'єднаний з робочою ємкістю 9 та за допомогою обертальної кінематичної пари E – з ведучою вилкою.

Аналітичне дослідження даного механізму машини слід починати задаючись вихідними геометричними параметрами, які обираються в залежності від специфіки технологічної операції, яка виконуються на даному обладнанні, зокрема: $l_{PE(MIN)}$ – мінімальна відстань між торцем робочої ємкості та рухомим торцем додаткової рухомої ланки, l_B – міжосьова відстань ведучої та веденої вилки, $l_{BB(MIN)}$ – мінімальна відстань між геометричними вісями кріплення вилки до додаткової рухомої ланки та до робочої ємкості. Функціонування даної машини може забезпечуватися лише при виконанні наступної умови:

$$l_{BB(MIN)} > l_B. \quad (2)$$

При виконанні умови (2) відбуватиметься додаткове зворотно-поступальне переміщення додаткової рухомої ланки 8 в середині робочої ємкості на відповідну амплітуду l_A . Таким чином, в процесі експлуатації машини відстань між геометричними осями кріплення вилки до робочої ємкості l_{BB} за зворотно-поступального переміщення додаткової рухомої ланки 8 в середині робочої ємкості 9, буде циклічно змінюватиметься від мінімального $l_{BB(MIN)}$ до максимального $l_{BB(MAX)}$ значення. За один повний оберт ведучого валу машини відбуватиметься чотири зворотно-поступальні переміщення додаткової рухомої ланки 8 в середині робочої ємкості 9.

Максимальна відстань $l_{BB(MAX)}$ виникатиме при таких положеннях рухомих ланок машини, коли повздовжня вісь робочої ємкості буде проектуватися на вертикальну площину станини в натуральну величину (рис. 3а), мінімальна відстань $l_{BB(MIN)}$ буде утворюватися, коли одна із осей кріплення ведучої чи веденої вилки буде горизонтальною, а інша вертикальною (рис. 3б). Позначення ланок на рис. 3 співпадає з позначеннями на рис. 2.

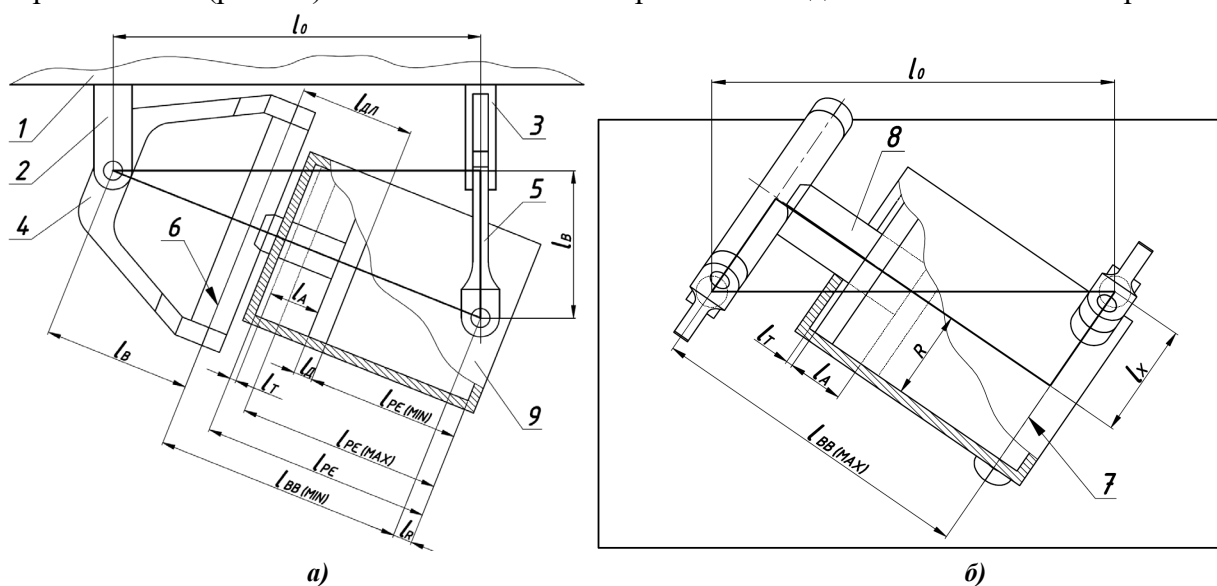


Рис. 3. Розроблена машина для обробки деталей: а – вид зверху, б – вид спереду

На основі прямокутного трикутника, утвореного у горизонтальній площині (рис. 3а), можна записати вираз для визначення відстані між осями ведучого та веденого валів l_0 :

$$l_0 = \sqrt{(l_{\text{BB(MIN)}} + l_B)^2 - l_B^2}. \quad (3)$$

Виходячи з геометричних міркувань (рис. 3б), максимальну відстань $l_{\text{BB(MAX)}}$ між геометричними осями кріплення вилок до робочої ємкості можна визначити за виразом:

$$l_{\text{BB(MAX)}} = \sqrt{l_0^2 - 4l_X^2}, \quad (4)$$

де l_X – відстань в проекції на вертикальну площину станини між віссю обертання ведучого (ведучого) валу та віссю робочої ємкості. Попередньо, в роботі [1] отримано вираз для визначення довжини l_X :

$$l_X = l_B \cos 45^\circ. \quad (5)$$

Підставимо значення виразу (5) у рівняння (4):

$$l_{\text{BB(MAX)}} = \sqrt{l_0^2 - 4(l_B \cos 45^\circ)^2}. \quad (6)$$

Як зазначалося вище, в процесі експлуатації машини буде змінюватися відстань між геометричними осями вилок, що відбуватиметься за рахунок зворотно-поступального переміщення додаткової рухомої ланки – поршня в середині робочої ємкості. Амплітуду l_A зворотно-поступального переміщення додаткової рухомої ланки вздовж стінок робочої ємкості можна визначити наступним чином:

$$l_A = l_{\text{BB(MAX)}} - l_{\text{BB(MIN)}}. \quad (7)$$

Підставимо у рівняння (7) вираз (6):

$$l_A = \sqrt{l_0^2 - 4(l_B \cos 45^\circ)^2} - l_{\text{BB(MIN)}}. \quad (8)$$

Запишемо рівняння (8) з урахуванням виразу (3):

$$l_A = \sqrt{(l_{\text{BB(MIN)}} + l_B)^2 - l_B^2 - 4(l_B \cos 45^\circ)^2} - l_{\text{BB(MIN)}}. \quad (9)$$

За допомогою рівняння (9) можна розрахувати амплітуду l_A зворотно-поступального переміщення додаткової рухомої ланки – поршня вздовж внутрішньої стінки робочої ємкості, що є необхідним під час конструювання даного типу обладнання.

На рис. 3а представлено таке положення рухомих ланок машини, при якому додаткова рухома ланка, по відношенню до робочої ємкості, буде знаходитися в одному з крайніх положень (крайне ліве положення), в результаті чого лівий внутрішній торець робочої ємкості буде максимально наближеним до торця додаткової рухомої ланки. Для того, щоб унеможливити зіткнення торця робочої ємкості з торцем додаткової рухомої ланки та подальше заклинювання механізму машини в цілому, необхідно забезпечити утворення відповідного зазору l_T між внутрішнім торцем ємкості та торцем додаткової рухомої ланки (рис. 3а). Величину l_T раціонально приймати в межах приблизно 10% від довжини $l_{\text{BB(MIN)}}$:

$$l_T = 0,1 \cdot l_{\text{BB(MIN)}}. \quad (10)$$

Специфіка даної машини заключається в тому, що в процесі її роботи буде циклічно змінюватися корисний об'єм робочої ємкості V_{PE} від максимального $V_{\text{PE(MAX)}}$ до мінімального $V_{\text{PE(MIN)}}$. Це необхідно враховувати при конструюванні, як самого обладнання, так і при

розробці технологічних процесів обробки деталей на стадії проектування, зокрема при встановленні раціональної межі заповнення ємкості робочим масивом. Тому необхідно отримати вирази для можливості визначення корисного об'єму ємкості. Робоча ємкість має циліндричну форму, відповідно розрахувати її повний об'єм можна наступним чином:

$$V_{PC} = \pi \cdot R^2 \cdot l_{PC}, \quad (11)$$

де R – внутрішній радіус робочої ємкості, l_{PC} – відстань між внутрішніми протилежними торцями робочої ємкості.

За виразом (11) можна розрахувати об'єм робочої ємкості без урахування розташованої в середині неї додаткової рухомої ланки.

За рахунок зворотно-поступального переміщення додаткової рухомої ланки в середині робочої ємкості, корисний об'єм робочої ємкості буде обмежений її внутрішньою циліндричною стінкою, торцем робочої ємкості, а також рухомим торцем додаткової рухомої ланки. Від так, відстань між торцем робочої ємкості та рухомим торцем додаткової рухомої ланки буде змінюватися від мінімальної $l_{PC(MIN)}$ до максимальної $l_{PC(MAX)}$:

$$l_{PC(MIN)} = l_{PC} - l_T - l_A - l_D. \quad (12)$$

$$l_{PC(MAX)} = l_{PC} - l_T - l_D. \quad (13)$$

Відповідно, з урахуванням виразів (12) та (13), можна записати вирази для розрахунку мінімального $V_{PC(MIN)}$ та максимального $V_{PC(MAX)}$ корисного об'ємів робочої ємкості:

$$V_{PC(MIN)} = \pi \cdot R^2 \cdot (l_{PC} - l_T - l_A - l_D). \quad (14)$$

$$V_{PC(MAX)} = \pi \cdot R^2 \cdot (l_{PC} - l_T - l_D). \quad (15)$$

Фактично основний геометричний параметр машини, яким необхідно задаватися на початку її конструювання – це мінімальний об'єм робочої ємкості. Таким чином, на основі мінімального об'єму робочої ємкості $V_{PC(MIN)}$, можна розрахувати $l_{PC(MIN)}$:

$$l_{PC(MIN)} = \frac{V_{PC(MIN)}}{\pi \cdot R^2}. \quad (16)$$

Виходячи з геометричних міркувань (рис. 3а), запишемо нерівність (2) наступним чином:

$$l_{PC(MIN)} + l_{ДЛ} - l_R \succ l_B, \quad (17)$$

де $l_{ДЛ}$ – довжина додаткової рухомої ланки від вісі в обертальній кінематичній парі з'єднання з ведучою вилкою до площини торця, який виконує зворотно-поступальне переміщення в середині робочої ємкості, l_R – відстань від геометричної вісі кріплення веденої вилки з робочою ємкістю до правого зовнішнього торця робочої ємкості, при відповідному положенні рухомих ланок машини. Величину l_R слід приймати в межах приблизно 15% від довжини $l_{PC(MIN)}$.

Запишемо нерівність (17) з урахуванням рівняння (16), а також з урахування відсоткового значення l_R :

$$0,85 \cdot \frac{V_{PC(MIN)}}{\pi \cdot R^2} + l_{ДЛ} > l_B. \quad (18)$$

Вираз (3) з урахуванням лівої частини нерівності (18) буде мати вигляд:

$$l_0 = \sqrt{\left(\left(0,85 \cdot \frac{V_{PC(MIN)}}{\pi \cdot R^2} + l_{ДЛ} \right) + l_B \right)^2 - l_B^2}. \quad (19)$$

Таким чином, дотримуючись нерівності (18) можна забезпечити безперешкодне функціонування машини без заклинювання її просторового механізму, а за виразами (9) та (13) розрахувати необхідні конструктивні параметри машини.

Висновки.

1. Представлено один з можливих варіантів звільнення просторового механізму галтувальної машини від надлишкового зв'язку.

2. Виконано синтез з подальшим аналітичним дослідженням семиланкового просторового механізму із застосуванням додаткової рухомої ланки. Розроблено нову конструкцію машини для обробки деталей, з об'ємом робочої ємкості, який змінюється в процесі виконання технологічних операцій.

3. На основі аналітичного дослідження отримані математичні залежності для розрахунку основних конструктивних параметрів машини, отримана нерівність, дотримуючись якої, можна забезпечити безперешкодне функціонування машини без заклинювання її просторового механізму. Дані залежності можуть бути використані відповідними машинобудівними підприємствами під час проектування такого типу обладнання.

Література

1. 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;
2. Першин В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа / Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. // Монография – М.: Машиностроение, 2009. – 220 с;
3. Патент №137568, МПК В24В 31/10 (2006.01). Спосіб об'ємної обробки металевих деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Сухенко А.Г., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201904193; заяв. 19.04.2019, опуб. 25.10.2019, бюл. № 20;
4. Залюбовський М. Г. Експериментальне визначення енергії необхідної для відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2019. – №6 (140). – С. 9 –

References

1. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., & Malyshev V. (2007). *Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monografiia* [Machines with complex movement of working capacities for processing of polymer parts]. Kyiv [in Ukraine];
2. Pershin, V., Odolko, V., & Pershina, S. (2009). *Pererabotka syuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa* [Processing bulk materials in drum type machines]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian];
3. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, Sukhenko AN, inventors (2019). *Sposib ob'iemnoi obrobky metalevykh detalei* [The method of three-dimensional processing of metal parts]. Ukrainian patent, no. 137568;
4. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., & Malyshev V. (2019). *Eksperymentalne vyznachennia enerhii neobkhdnoi dlia viddilennia metalevykh detalei vid lyvnykiv* [Experimental determination of the energy required to separate metal parts from foundries], *Visnyk Kyiv National University of*

- 17;
5. 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;
6. Патент №113267, МПК В24В 31/10 (2006.01). Спосіб вологого шліфування полімерних деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201606526; заяв. 15.06.2016, опуб. 25.01.2017, бюл. № 2;
7. Патент №113266, МПК В24В 31/10 (2006.01). Спосіб вологого полірування полімерних деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201606525; заяв. 15.06.2016, опуб. 25.01.2017, бюл. № 2;
8. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working container / 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. – №2. Vol 132,– С. 24-32;
9. M. Marigo. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD / M. Marigo. - The University of Birmingham, UK., 2012;
10. C. Mayer-Laigle. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer / C. Mayer-Laigle, C. Gatumel, H. Berthiaux // Chemical Engineering Research and Design Volume 95, March 2015, Pages 248-261;
11. Igor Panasyuk. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / Igor Panasyuk, Mark Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – P. 260-264;
12. Панасюк І.В. Визначення закону зміни кутової швидкості ведучого валу машини для обробки деталей зі складним рухом робочої ємкості / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – №5. – С.40-46;
13. M. G. Zalyubovskii. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 1, April 2020, 54 – 64;
14. M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Technologies and Design – Bulletin of the KNUVD, 6, 9 – 17 [in Ukraine];
5. Burmistenkov, O. (2007). *Vyrobnytstvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereynii promyslovosti: monohrafiia* [Manufacture of cast details and articles of polymeric materials in the shoe and leather industry: monograph]. Khmelnytskyi [in Ukraine];
6. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, inventors (2017). Sposib volohoho shlifuvannia polimernykh detalei [The method of wet grinding of polymer parts]. Ukrainian patent, no. 113267;
7. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, inventors (2017). Sposib volohoho poliruvannia polimernykh detalei [The method of wet polishing of polymer parts]. Ukrainian patent, no. 113266;
8. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., Smirnov Y., Klaptsov, Y., & Malyshev, V. (2019). Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working container. Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, 2, Vol 132, 24-32. [in English];
9. Marigo, M. (2012). Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK, 316 [in English];
10. Mayer-Laigle C., Gatumel, C., & Berthiaux, H. (2015). Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer. Chemical Engineering Research and Design. [in English];
11. Panasyuk, I., Zalyubovskiy, M. (2015). Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process. Metallurgical and Mining Industry, Vol. 3, 260 – 264 [in English];
12. Panasyuk, I., Zalyubovskiy, M. (2015). Vyznachennia zakonu zminy kutovoi shvydkosti veduchoho valu mashyny dlia obrobky detalei zi skladnym rukhom robochoi yemkosti [Determination of the law of change of angular velocity of the driving shaft of the machine for processing parts with complex movement of the working capacity], *Visnyk KNUVD – Bulletin of the KNUVD*, 5, 40-46 [in Ukraine];
11. Zalyubovskii, M., Panasyuk, V. (2020). On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine. International Applied Mechanics, 56,

Ingram, E. H. Stitt. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbulence Motion using Positron Emission Particle Tracking, CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences, Vol. 59, No. 3 (2010), pp. 217-238;
15. Артоболовский И.И. Теория машин и механизмов. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
16. Патент №133925, МПК В01F 11/00 (2019.01), В24В 37/07 (2019.01). Машина для обработки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В., заявник та патентовласник Вищий навчальний заклад «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна» – №u201811703; заяв. 28.11.2018, опуб. 25.04.2019, бюл. № 8;

issue 1, 54 – 64 [in English];

14. M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Ingram & E. H. Stitt. (2010) Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbulence Motion using Positron Emission Particle Tracking, CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences. [in English];

15. Artobolevskii, I. (1988). *Teoriia mashin i mekhanizmov* [Theory of machines and mechanisms]. Moscow [in Russian];

16. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, inventors (2019). Mashyna dlia obrobky detalei [Machine for processing parts]. Ukrainian patent, no. 133925.

ZALIUBOVSKIY MARK

markzalubovskiy@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>

Open University of Human Development «Ukraine»

IGOR PANASYUK

panasjuk1961@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>

ResearcherID: D-4255-2017

Kyiv National University of Technologies & Design

MALYSHEV VICTOR

viktor.malyshev.igic@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2756-3236>

Open University of Human Development «Ukraine»

**МАШИНА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С СЕМИЗВЕННЫМ
ПРОСТРАНСТВЕННЫМ МЕХАНИЗМОМ - СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ**

ЗАЛЮБОВСКИЙ М.Г.¹, ПАНАСЮК И.В.², МАЛЫШЕВ В.В.¹

¹ Открытый международный университет развития человека «Украина»,

² Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Синтез семизвального пространственного статически определенного механизма без избыточного (пассивного) связи с дополнительным подвижным звеном машины для обработки деталей с последующим аналитическим исследованием его основных конструктивных и геометрических параметров.

Методика. Использован аналитический метод исследования на основе геометрического и структурного синтеза пространственного семизвального статически определенного механизма с дополнительным подвижным звеном без избыточной связи машины для обработки деталей, выполнено 3D моделирование машины в системе автоматизированного проектирования SolidWorks 2016.

Результаты. На основе структурного синтеза предложена конструкция семизвального пространственного статически определенного механизма с дополнительным подвижным звеном машины для обработки деталей, в кинематической цепи пространственного механизма отсутствует избыточная связь, выполнено 3D моделирование машины в системе автоматизированного проектирования SolidWorks 2016. Проведено аналитические исследования основных геометрических и конструктивных параметров разработанной машины.

Научная новизна. Установлена взаимосвязь между различными геометрическими параметрами пространственного семизвального статически определенного механизма, что дает

возможность рассчитать оптимальные соотношения длин звеньев механизма для обеспечения беспрепятственного функционирования машины без заклинивания ее пространственного механизма

Практическая значимость. Разработана новая конструкция машины для обработки деталей, в основе которой используется семизвенный пространственный статически определенный механизм с дополнительным подвижным звеном без избыточной связи. Получены математические зависимости для расчета ее основных конструктивных и геометрических параметров. Данные зависимости могут быть использованы соответствующими машиностроительными предприятиями на стадии проектирования такого типа оборудования.

Ключевые слова: избыточная связь, семизвенный пространственный механизм, возвратно-поступательное перемещение, рабочая емкость.

MACHINE FOR PROCESSING PARTS WITH A SEVEN-LINK SPATIAL MECHANISM - SYNTHESIS AND RESEARCH

ZALYUBOVSKYI M.G.¹, PANASYUK I.V.², MALYSHEV V.V.¹

¹ Open University of Human Development «Ukraine»

² Kyiv National University of Technologies and Design

Goal. Synthesis of a seven-link spatial statically determined mechanism without redundant (passive) connection with an additional moving link of a machine for processing parts, followed by an analytical study of its main structural and geometric parameters.

Methodology. An analytical research method was used based on the geometric and structural synthesis of a spatial seven-link statically defined mechanism with an additional movable link without redundant communication of the machine for processing parts; 3D modeling of the machine was performed in the SolidWorks 2016 computer-aided design system.

Results. On the basis of structural synthesis, the design of a seven-link spatial statically defined mechanism with an additional movable link of the machine for processing parts is proposed, there is no redundant connection in the kinematic chain of the spatial mechanism, 3D modeling of the machine is performed in the CAD system SolidWorks 2016. Analytical studies of the main geometric and design parameters of the developed machine are carried out.

Scientific novelty. The relationship between various geometric parameters of the spatial seven-link statically determined mechanism is established, which makes it possible to calculate the optimal ratio of the lengths of the links of the mechanism to ensure the smooth functioning of the machine without jamming its spatial mechanism

Practical significance. A new design of a machine for processing parts has been developed, based on a seven-section spatial statically determined mechanism with an additional moving link without redundant communication. Mathematical dependences are obtained for calculating its basic design and geometric parameters. These dependencies can be used by the corresponding machine-building enterprises at the design stage of this type of equipment.

Key words: excess communication, seven-link spatial mechanism, reciprocating movement, working capacity.