

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

СИНТЕЗ ТА АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНОГО ПРОСТОРОВОГО ШАРНІРНОГО МЕХАНІЗМУ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Мета. Синтез семиланкового статично визначеного просторового шарнірного механізму з додатковою рухомою ланкою кривошипом без надлишкового (пасивного) зв'язку галтувальної машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух, з подальшим аналітичним дослідженням його конструктивних та геометричних параметрів.

Методика. Використано аналітичний метод дослідження на основі геометричного та структурного синтезу просторового семиланкового шарнірного механізму з додатковою рухомою ланкою кривошипом без надлишкового зв'язку галтувальної машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Проведено моделювання машини у системі автоматизованого проектування SolidWorks-2016.

Результати. На основі структурного синтезу запропоновано конструкцію семиланкового статично визначеного просторового механізму з додатковою рухомою ланкою кривошипом галтувальної машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Виконано 3D моделювання машини в системі автоматизованого проектування SolidWorks-2016. Проведено аналітичні дослідження основних геометричних параметрів розробленої галтувальної машини.

Наукова новизна. Встановлено взаємозв'язок між різними геометричними параметрами синтезованого семиланкового статично визначеного просторового шарнірного механізму, зокрема, між міжосьовою довжиною проміжного шатуна (робочої ємкості) та довжиною кривошипа, що дає можливість розрахувати необхідні співвідношення довжин ланок механізму для забезпечення функціонування машини без заклинювання її просторового механізму.

Практична значимість. Розроблено нову конструкцію машини для обробки деталей, в основі якої використовується семиланковий статично визначений просторовий шарнірний механізм з додатковою рухомою ланкою кривошипом. Отримані математичні залежності для розрахунку її основних конструктивних та геометричних параметрів. Дані залежності можуть бути використані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

Ключові слова: надлишковий зв'язок, статично визначений просторовий механізм, обертальний рух, робоча ємкість, кривошип, коромисло.

Вступ. Відомі такі методи [1] фінішної обробки дрібних металевих та полімерних деталей: із застосуванням примітивних засобів малої механізації, із використанням універсальних різальних верстатів та із застосуванням галтувального обладнання [2]. Перший спосіб потребує значного часу на виконання технологічної операції та робочого потенціалу. Другий спосіб не завжди актуальний, оскільки значна кількість деталей, які обробляються не потребують зняття точно визначеної величини припуску. Третім способом обробляються ті вироби, для яких відсутні вимоги щодо зняття точно визначеної величини припуску з їх оброблюваної поверхні, а якість їх поверхні можна визначити органолептично. Таким методом, наприклад, можуть реалізуватися технологічні процеси покращення якості поверхні (шліфування [3] та полірування [4]) виробів, відділення деталей від ливників [5] тощо.

Для реалізації галтувальних технологічних процесів використовують різні типи обладнання: машини з обертовими ємкостями; вібраційні та шпindelні машини; машини, у яких робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Відомо, що машини з обертальними ємкостями та вібраційні машини характеризуються низькою продуктивністю виконання галтувальних технологічних операцій. Перспективним типом обладнання вважаються машини [6, 7], робочі ємкості яких виконують складний просторовий рух [8]. Доведено [9], що саме такий рух робочої ємкості сприяє підвищенню інтенсивності руху робочого масиву. В результаті чого досягається значне підвищення продуктивності виконання фінішних галтувальних технологічних операцій з одночасним зменшенням енерговитрат.

Постановка завдання. Відома [10] «базова» конструкція машини зі складним рухом робочої ємкості. В основі такої машини шестиланковий статично невизначений просторовий механізм з надлишковим зв'язком, що має негативний вплив на експлуатаційні властивості механізму. Попередніми дослідженнями встановлено [11], що такий механізм може функціонувати лише при дотриманні співвідношень довжин його ланок з високою точністю. Однак, при роботі такого механізму може виникнути повне його заклинювання, яке буде зумовлене навіть незначною деформацією будь-якої із його ланок. У результаті, при проектуванні такого механізму ставляться підвищені вимоги, а саме: деталі необхідно виготовляти за допусками з підвищеною точністю. Це призводить до значного збільшення вартості такого обладнання.

Таким чином, актуальним є синтез статично визначених просторових механізмів галтувальних машин, що будуть аналогічні за своїм функціональним призначенням, а також подальше аналітичне дослідження їх відповідних геометричних параметрів.

Результати дослідження. У роботі [6] достеменно розглянуто базову конструкцію машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості. Згідно формули Сомова-Малишева [12] для визначення ступеня вільності просторового механізму встановлено, що для даного просторового механізму він рівний нулю. Механізми, у яких ступінь рухомості рівний нулю, вважаються непрацездатними. Однак, шестиланковий просторовий механізм «базової» конструкції галтувальної машини здатен функціонувати при забезпеченні чітких конструктивних співвідношень довжин його ланок, які отримані в роботах [8, 11]. Це пов'язано із наявністю у ньому надлишкового зв'язку.

Звільнитися від дії надлишкового зв'язку можна шляхом введення додаткової рухомої ланки у його кінематичний просторовий ланцюг. Таким чином, у якості додаткової рухомої ланки було використано кривошип, який кінематично з'єднаний з веденим валом машини та з можливістю повнообертального руху відносно горизонтальної вісі встановлений у станині машини. Кінематична схема просторового шарнірного механізму представлена на рис. 1 (а), а модель такої машини на рис. 1 (б).

Просторовий механізм машини складається зі станини 0, ведучого 1 та веденого 5 валів, ведучого шатуна 2, веденого шатуна 4, проміжного шатуна 3, кривошипу 6. Ведучий 1 та ведений 5 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучим шатуном 2 та веденим шатуном 4 відповідно, діаметрально взаємо перпендикулярні вісі 7 і 8 шатунів є вісями кріплення проміжного шатуна 3. Проміжний шатун 3 (робоча ємкість) виконує складний просторовий рух.

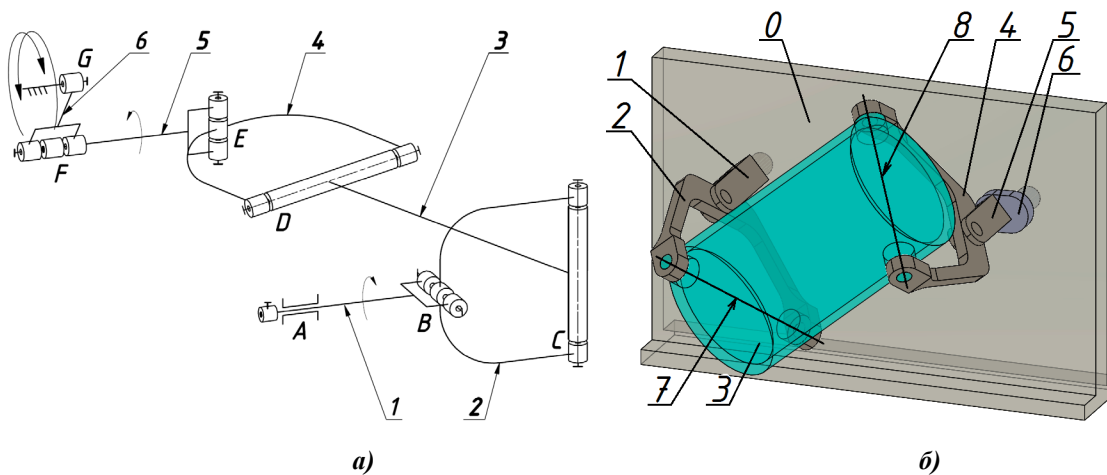


Рис. 2. а – кінематична схема синтезованого механізму, б – модель машини

При експлуатації даного механізму, за один оберт ведучого валу 1, кривошип 6 буде виконувати вісім додаткових обертань. При розробці даного механізму важливим аспектом є розрахунок раціональної довжини кривошипу. Розглянемо конструкцію даної машини при таких положеннях рухомих ланок, коли між вісями ведучого та веденого валів утворюватиметься максимальна (рис. 2 (а)) та мінімальна (рис. 2 (б)) відстані.

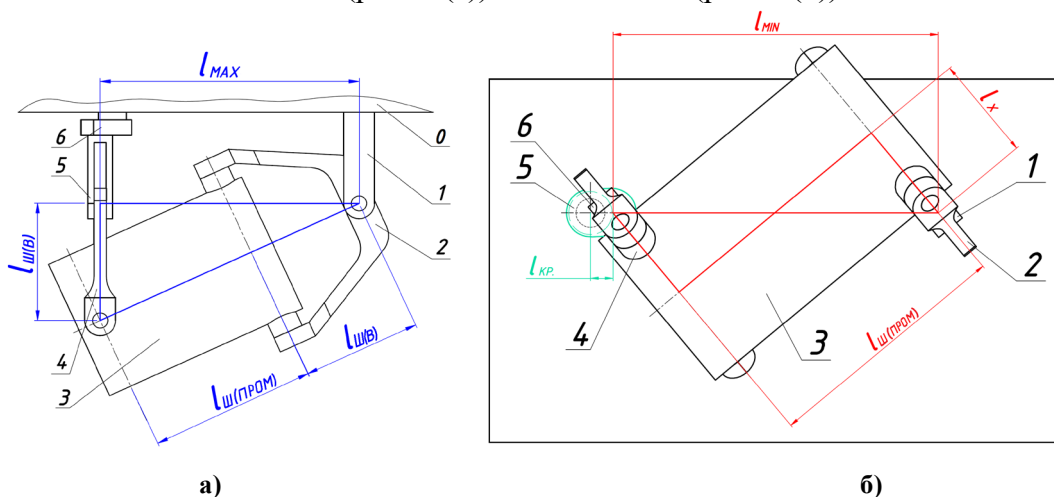


Рис. 2. Розроблена галтувальна машина: а – вид зверху, б – вид спереду

Для функціонування такої конструкції машини необхідно, щоб вісь обертання ведучого валу знаходилась в одній горизонтальній площині з віссю обертання кривошипу, котрий кінематично з'єднаний з веденим валом. Середню відстань l_0 між віссю обертання ведучого валу та віссю обертання кривошипу в проекції на горизонтальну площину можна розрахувати наступним чином:

$$l_0 = l_{MIN} + l_{КР}, \quad (1)$$

де $l_{КР}$ – довжина кривошипу, l_{MIN} – мінімальна відстань між віссю обертання ведучого валу та віссю обертання кривошипу.

Виходячи з геометричної побудови на рис. 2 (б), запишемо вираз для розрахунку величини l_{MIN} :

$$l_{MIN} = \sqrt{l_{Ш(ПРОМ)}^2 + 4l_X^2}, \quad (2)$$

де $l_{Ш(ПРОМ)}$ – відстань між осями кріплення проміжного шатуна (робочої ємкості), l_X – відстань у проекції на вертикальну площину між віссю обертання веденого (ведучого) валу та віссю проміжного шатуна.

У роботі [8] було отримано вираз для розрахунку відстані l_X :

$$l_X = l_{Ш(B)} \cos 45^\circ. \quad (3)$$

де $l_{Ш(B)}$ – міжосьова відстань ведучого (веденого) шатуна.

Рівняння (2) з урахуванням виразу (3) буде мати вигляд:

$$l_{MIN} = \sqrt{l_{Ш(ПРОМ)}^2 + 4(l_{Ш(B)} \cos 45^\circ)^2}. \quad (4)$$

Запишемо вираз (1) з урахуванням (4):

$$l_0 = \sqrt{l_{Ш(ПРОМ)}^2 + 4(l_{Ш(B)} \cos 45^\circ)^2} + l_{KP}. \quad (5)$$

Вираз для розрахунку раціональної довжини кривошипу буде мати вигляд:

$$l_{KP} = \frac{l_{MAX} - l_{MIN}}{2}, \quad (6)$$

де l_{MAX} – максимальна відстань між віссю обертання ведучого валу та віссю обертання кривошипу. l_{MAX} , виходячи з геометричної побудови, яка представлена на рис. 2 (а), можна визначити наступним чином:

$$l_{MAX} = \sqrt{(l_{Ш(B)} + l_{Ш(ПРОМ)})^2 - l_{Ш(B)}^2}. \quad (7)$$

З урахуванням виразів (4) та (7), рівняння (6) буде мати вигляд:

$$l_K = \frac{\sqrt{(l_{Ш(B)} + l_{Ш(ПРОМ)})^2 - l_{Ш(B)}^2} - \sqrt{l_{Ш(ПРОМ)}^2 + 4(l_{Ш(B)} \cos 45^\circ)^2}}{2}. \quad (8)$$

Підставимо рівняння (8) у вираз (5):

$$l_0 = \frac{\sqrt{(l_{Ш(B)} + l_{Ш(ПРОМ)})^2 - l_{Ш(B)}^2} + \sqrt{l_{Ш(ПРОМ)}^2 + 4(l_{Ш(B)} \cos 45^\circ)^2}}{2}. \quad (9)$$

За виразом (9) можна розрахувати відстань l_0 між віссю обертання ведучого валу та віссю обертання кривошипу в проекції на горизонтальну площину, що буде характеризувати необхідне розташування вісі кривошипу до вісі ведучого валу у горизонтальній площині.

Слід зазначити, що при порушенні рівності (6), додаткова рухома ланка у даній конструкції машини перестане виконувати повнообертальний рух, а коливатиметься на відповідний кут. Таким чином, додаткова рухома ланка стане коромислом.

Для того, щоб додаткова рухома ланка почала виконувати коливальне переміщення у вертикальній площині необхідно, щоб виконувалася наступна нерівність:

$$l_{KP} > \frac{l_{MAX} - l_{MIN}}{2}, \quad (10)$$

де l_{KP} – довжина коромисла.

Висновки.

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

2. Виконано синтез статично визначеного семиланкового просторового механізму із застосуванням додаткової рухомої ланки кривошипа. Розроблено нову конструкцію машини для обробки деталей, що забезпечує більш інтенсивне струшування робочого середовища.

3. Аналітично отримані математичні вирази для розрахунку основних геометричних та конструктивних параметрів машини. 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. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 3 (134). – P. 9 – 17;
4. 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;
5. 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 – 17;
6. 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;
7. 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;
8. M. G. Zalyubovskii. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism

References

1. Zalyubovskiy, M.H., Panasyuk, I.V., & Malyshev V.V. (2007). *Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monohrafiia* [Machines with complex movement of working capacities for processing of polymer parts]. Kyiv [in Ukraine];
2. Pershin, V.F., Odnolko, V.G., & Pershina, S.V. (2009). *Pererabotka sybuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa* [Processing bulk materials in drum type machines]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian];
3. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O., Malyshev V.V. (2019). Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 3, 9 – 17 [in English];
4. Zalyubovskiy, M.H., Panasyuk, I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov, Y.V., Malyshev, V.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, 24-32 [in English];
5. Zalyubovskiy, M.H., Panasyuk, I.V., Malyshev V.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 Technologies and Design – Bulletin of the KNUITD*, 6, 9 – 17 [in Ukraine];
6. 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];
7. 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*, 2, 60-68 [in English];
8. Zalyubovskii, M.H., Panasyuk, I.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, 54 – 64. [in

of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 1, April 2020, 54 – 64;

9. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbula-Mixer Motion using Positron Emission Particle Tracking / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Ingram, E. H. Stitt // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences, Vol. 59, No. 3 (2010), p. 217-238.

10. 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;

11. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75;

12. Артоболевский И.И. Теория машин и механизмов. – М.: Наука, 1988. – 640 с;

English];

9. Marigo, M., Cairns, D. L., Davies, M., Cook, M., Ingram, A., Stitt E. H. (2010). Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbula-Mixer Motion using Positron Emission Particle Tracking. *CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 3, 217-238. [in English];

10. Panasyuk, I.V., Zalyubovskiy, M.H. (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 KNUTD – Bulletin of the KNUTD*, 5, 40-46 [in Ukraine];

11. Zaliubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Smirnov, Yu. I., Malyshev V. V. (2020). Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 178, 69-75. [in English];

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

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»

**СИНТЕЗ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛЕННОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО
ШАРНИРНОГО МЕХАНИЗМА ГАЛТОВОЧНОЙ МАШИНЫ
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 семизвенного статически определенного пространственного шарнирного механизма с дополнительным подвижным звеном кривошипом без избыточной (пассивной) связи галтовочной машины со сложным пространственным движением рабочей емкости с последующим аналитическим исследованием его конструктивных и геометрических параметров.

Методика. Использованы аналитический метод исследования на основе геометрического и структурного синтеза пространственного семизвенного шарнирного механизма с дополнительным подвижным звеном кривошипом без избыточной связи галтовочной машины со сложным пространственным движением рабочей емкости. Выполнено моделирование машины в системе автоматизированного проектирования SolidWorks-2016.

Результаты. На основе структурного синтеза предложена конструкция семизвенного статически определенного пространственного механизма с дополнительным подвижным звеном

кривошипом галтовочной машины, у которой рабочая емкость выполняет сложное пространственное движение. Выполнено 3D моделирование машины в системе автоматизированного проектирования SolidWorks 2016. Проведены аналитические исследования основных геометрических параметров разработанной галтовочной машины.

Научная новизна. Установлена взаимосвязь между различными геометрическими параметрами синтезированного семизвенного статически определенного пространственного шарнирного механизма, в частности, между межосевой длиной промежуточного шатуна (рабочей емкости) и длиной кривошипа, что дает возможность рассчитать необходимые соотношения длин звеньев механизма для обеспечения функционирования машины без заклинивания ее пространственного механизма.

Практическая значимость. Разработана новая конструкция машины для обработки деталей, в основе которой используется семизвенный статически определенный пространственный шарнирный механизм с дополнительным подвижным звеном кривошипом. Получены математические зависимости для расчета ее основных конструктивных и геометрических параметров. Данные зависимости могут быть использованы в соответствующих конструкторских бюро машиностроительных предприятий на стадии проектирования галтовочного оборудования со сложным пространственным движением рабочих емкостей.

Ключевые слова: избыточный связь, статически определенный пространственный механизм, вращательное движение, рабочая емкость, кривошип, коромысло.

SYNTHESIS AND ANALYTICAL INVESTIGATIONS OF GEOMETRIC PARAMETERS OF A STATICALLY DETERMINED SPATIAL HINGED MECHANISM OF A HANDLING MACHINE

ZALYUBOVSKIY 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 statically determined spatial hinge mechanism with an additional movable crank link without redundant (passive) connection of the tumbling machine with a complex spatial movement of the working vessel with subsequent analytical study of its design and geometric parameters.

Methodology. The analytical method of research is used on the basis of geometric and structural synthesis of a spatial seven-link hinge mechanism with an additional movable crank link without redundant connection of the tumbling machine with a complex spatial movement of the working vessel. The machine was simulated in the SolidWorks-2016 computer-aided design system.

Results. Tumbling types of equipment with containers, which perform a different character of movement, are analyzed. On the basis of structural synthesis, the design of a seven-link statically defined spatial mechanism with an additional movable link, a tumbling machine crank, in which the working capacity performs a complex spatial movement, is proposed. Carried out 3D modeling of the machine in the CAD system SolidWorks 2016. Analytical studies of the main geometric parameters of the developed tumbling machine were carried out.

Scientific novelty. A relationship has been established between various geometric parameters of the synthesized seven-link statically determined spatial hinge mechanism, in particular, between the center-to-center length of the intermediate connecting rod (working capacity) and the length of the crank, which makes it possible to calculate the necessary ratios of the lengths of the links of the mechanism to ensure the 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-link statically determined spatial hinge mechanism with an additional movable crank link. Mathematical dependencies are obtained for calculating its basic design and geometric parameters. These dependencies can be used in the corresponding design bureaus of machine-building enterprises at the design stage of tumbling equipment with a complex spatial movement of working containers.

Keywords: redundant communication, statically defined spatial mechanism, rotational motion, working capacity, crank.