

УДК 621.924.7 **ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.<sup>1</sup>, ПАНАСЮК І. В.<sup>2</sup>, МАЛИШЕВ В. В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

<sup>2</sup>Київський національний університет технологій та дизайну

## **ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З ДВОМА ЄМКОСТЯМИ, ЩО ВИКОНУЮТЬ СКЛАДНИЙ ПРОСТОРОВИЙ РУХ**

**Мета.** Дослідження основних кінематичних параметрів галтувальної машини з двома рухомими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою та виконують складний просторовий рух для можливості подальшого прогнозування технологічного результату на стадії проектування такого обладнання та відповідних технологічних операцій обробки деталей.

**Методика.** Із застосуванням системи автоматизованого проектування SolidWorks-2016 Motion проведено 3D моделювання, з подальшим виконанням кінематичного аналізу, машини для обробки деталей з двома рухомими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою та виконують складний просторовий рух. Суть кінематичного аналізу полягала у визначенні лінійних швидкостей та прискорень точок, що співпадають з торцями робочих ємкостей машини.

**Результати.** На основі 3D моделювання та кінематичного аналізу в системі автоматизованого проектування SolidWorks-2016 Motion визначено деякі кінематичні параметри машини, зокрема, у вигляді графічних залежностей отримано закон зміни кутової швидкості веденого валу машини, досліджено зміну поступальної швидкості та поступального прискорення чотирьох точок, які умовно розташовані в центрі торців кожної з робочих ємкостей.

**Наукова новизна.** Встановлено взаємозв'язок між деякими кінематичними параметрами (лінійна швидкість та лінійне прискорення) розробленої конструкції машини з двома рухомими ємкостями, що виконують складний просторовий рух.

**Практична значимість.** Встановлено, що кінематичні параметри двох ємкостей машини відрізняються між собою, в результаті чого, під час виконання відповідних технологічних операцій, інтенсивність переміщення робочого масиву у двох ємкостях відрізнятиметься між собою. Окрім того, торці кожної з робочих ємкостей переміщуються практично з однаковими кінематичними параметрами, що сприятиме переміщенню робочого масиву між протилежними торцями обох ємкостей в зустрічних напрямках з однаковою інтенсивністю. Отримані результати дають можливість визначити найбільш раціональне функціональне призначення досліджуваної машини.

**Ключові слова:** складний просторовий рух, робоча ємкість, кінематичні параметри, поступальне прискорення, поступальна швидкість.

**Вступ.** Окремим типом механічної обробки деталей є об'ємні галтувальні технологічні операції [1]. Вони реалізуються при обробці деталей технологічним середовищем в рухомих робочих ємкостях. Таким способом виготовляються ті деталі, які неможливо обробити із застосуванням універсальних пристроїв (токарних, фрезерувальних, свердлильних та інших верстатів), а також деталі, для яких відсутні вимоги щодо зняття точно визначеної величини припуску з їх оброблюваної поверхні.

Зокрема, до таких технологічних операцій відносяться: технологічні процеси покращення якості поверхні деталей (шліфування [2] та полірування [3]); відділення деталей від ливників [4]; подрібнення; очищення поверхні деталей від продуктів корозії, заусенцій, облою та окалин; заокруглення гострих країв тощо.

Для реалізації таких технологічних операцій використовують різні типи галтувального обладнання. Найбільш поширеними є обертові ємкості [5] різної конструкції, а також вібраційні машини [6]. Однак, таке обладнання є найменш ефективним, на обробку

деталей витрачається значний резерв часу (до 38 годин безперервної роботи машини), а величина припуску, яку можна зняти з поверхні деталі за допомогою вібраційної установки не перевищує 0,025 мм. Використовуються також шпindelні, шіткові та роторні машини. Перспективним, на сьогоднішній день, вважається використання галтувального обладнання з емкостями, які виконують складний просторовий рух [7, 8]. В таких машинах робоча емкість виконує одночасне переміщення відносно трьох взаємно перпендикулярних площин, а також обертається навколо власної осі. Такий рух робочої емкості сприяє підвищенню інтенсивності руху технологічного середовища. Оброблювані деталі отримують усі ступені свободи, їх багаточисельні зіткнення з абразивним наповнювачем відбуваються одночасно з усіх боків, таким чином, уся поверхня виробів оброблюється рівномірно. В результаті чого можна досягнути значного підвищення продуктивності виготовлення деталей з одночасним зменшенням енерговитрат.

**Постановка завдання.** Авторами розроблені різноманітні конструкції машин зі складним просторовим рухом робочих емкостей, які мають свою специфіку та використовуються для відповідних різних технологічних операцій.

Конструкція машини зі складним рухом робочої емкості [9], яку рекомендовано використовувати виключно для процесів відділення деталей від ливників. Розроблено та досліджено ряд конструкцій [10 – 14], в кінематичних ланцюгах яких відсутня наявність надлишкового (пасивного) зв'язку. Відомо [15], що у деяких машинах зі складним просторовим рухом робочих емкостей, протилежні торці робочої емкості рухаються з різними кінематичними характеристиками, у зв'язку з цим переміщення технологічного середовища між торцями робочої емкості у зустрічних напрямках відбувається з різною інтенсивністю. Таким чином, були розроблені конструкції машин [16, 17], у яких, за рахунок використання спеціальних конструкцій приводів, збалансовано кінематичні характеристики переміщення протилежних торців робочої емкості. Такі конструкції машин рекомендовано використовувати для процесів покращення якості поверхні деталей (шліфування та полірування).

Також розроблена [18] конструкція машини з двома емкостями, що виконують складний просторовий рух та рухомо з'єднані між собою за допомогою поступальної кінематичної пари. В результаті рухомого з'єднання двох емкостей між собою поступальною кінематичною парою буде збільшуватися амплітуда просторового переміщення кожної із емкостей. Базуючись на висновки деяких попередніх досліджень [15], ймовірно, що дві робочі емкості будуть виконувати просторове переміщення з різною інтенсивністю. Однак, дослідження кінематичних параметрів такої конструкції машини до тепер не проводилися.

Таким чином, дослідження кінематичних параметрів конструкції машини з двома емкостями, що виконують складний просторовий рух та рухомо з'єднані між собою за допомогою поступальної кінематичної пари є актуальною задачею на сьогоднішній день. Дані дослідження дадуть можливість отримати інформації щодо характеру руху кожної з двох робочих емкостей, а також дадуть можливість прогнозувати технологічний результат на стадії проектування,

**Результати дослідження.** Авторами розроблено конструкцію галтувальної машини з двома робочими емкостями, що рухомо з'єднані між собою за допомогою поступальної

кінематичної пари. Обидві ємкості виконують складний просторовий рух. В результаті використання двох рухомих робочих ємкостей з кінематичного ланцюга машини виключено надлишковий зв'язок. На рис. 1, а представлено кінематичну схему машини.

Для проведення подальшого кінематичного дослідження машини за допомогою САПР SolidWorks було виконано моделювання даної конструкції машини з наступними геометричними параметрами: відстань між осями обертання ведучого та веденого валів  $l_0=0,24$  м, міжосьова відстань вилок  $l_B=0,077$  м, зовнішній діаметр робочих ємкостей  $d=0,1$  м, довжина робочих ємкостей від осі обертальної кінематичної пари з'єднання з вилкою до протилежного торця  $l_{PC}=0,019$  м, об'єм робочої ємкості  $V_{PC}=0,0015$  м<sup>3</sup> (1,5 л). Модель машини, що виконана в САПР SolidWorks представлено на рис. 1, б (позначення на рис. 1, б співпадають з позначенням ланок на кінематичній схемі, яка представлена на рис. 1, а).

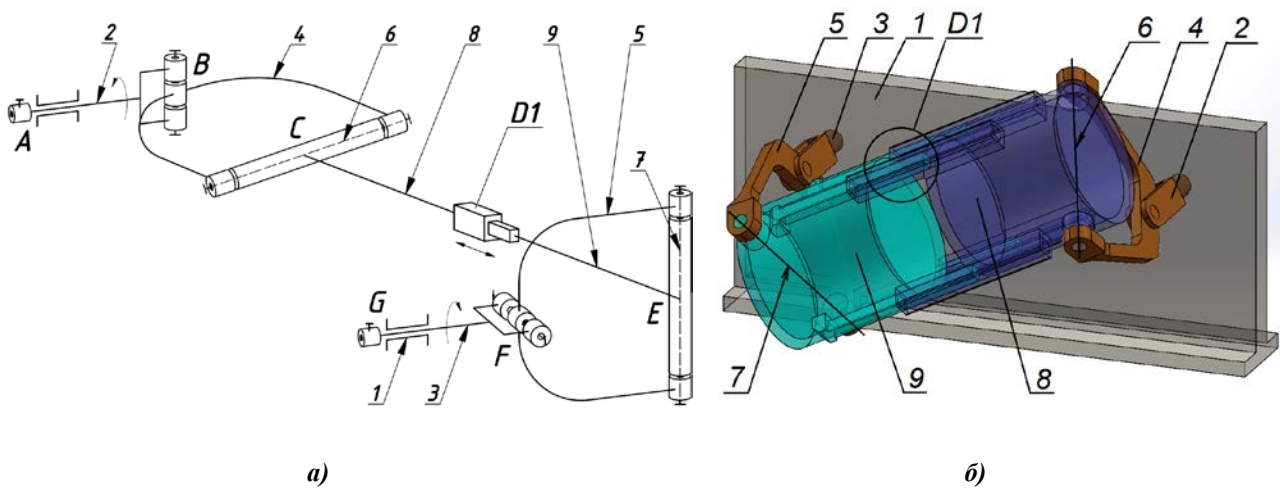


Рис. 1. Кінематична схема машини з двома рухомими робочими ємкостями (а) та модель даної машини, виконана в САПР SolidWorks (б)

Машина містить станину 1, ведучий 2 та ведений 3 вали, що встановлені в станині паралельно в одній площині. Ведучий 2 та ведений 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучою 4 та веденою вилкою 5 відповідно, діаметрально взаємно перпендикулярні геометричні осі 6 та 7 яких є вісями кріплення робочих ємкостей 8 та 9 відповідно. Робочі ємкості 8 та 9 з'єднані між собою за допомогою поступальної кінематичної пари  $D1$ .

Машина з поступальною кінематичною парою працює наступним чином: обертальний рух від приводу машини передається на ведучий вал 2, який передає обертальний рух ведучій вилці 4, котра через вісь 6 обертає першу робочу ємкість 8. Обертальний рух робочої ємкості 8 через поступальну кінематичну пару  $D1$  передається до робочої ємкості 9. Обертальний рух робочої ємкості 9 передається через вісь 7 на вилку 5 та на ведений вал 3. Робочі ємкості 8 та 9 виконують складний просторовий рух у трьох взаємно перпендикулярних площинах, а також виконують зворотно-поступальне переміщення одна відносно іншої. За один оберт ведучого валу 2, робочі ємкості 8 та 9 виконують вісім вздовжосьових зворотно-поступальних переміщень одна відносно іншої.

В даній конструкції машини, що, зі структурної точки зору, являє собою подвійний просторовий шарнір, ведучий вал обертається з постійною кутовою швидкістю. Як відомо з роботи [15], обертання ведучого валу в подвійному просторовому карданному шарнірі призводить до того, що ведений вал обертається з непостійною кутовою швидкістю та призводить до більш інтенсивного переміщення частини робочої ємкості, яка з'єднана з веденим валом.

Таким чином, у САПР SolidWorks Motion було проведено кінематичне дослідження щодо визначення характеру обертання веденого валу машини. При проведенні даного дослідження ведучому валу було задано обертання з постійною кутовою швидкістю в  $\omega_{ведуч.} = 4,2 \text{ рад/с}$ . У попередніх дослідженнях [19] було встановлено, що для даного типорозміру машини така кутова швидкість ведучого валу  $\omega_{ведуч.}$  є раціональною для забезпечення виконання основних галтувальних операцій із забезпеченням їх високої продуктивності. За кут повороту ведучого валу, який рівний нулю градусів, прийнято таке положення рухомих ланок машини, при якому вісь кріплення ведучої вилки з робочою ємкістю є горизонтальною. Результати даного кінематичного дослідження у вигляді графічної залежності зміни кутової швидкості веденого валу  $\omega_{вед.}$  При постійній кутовій швидкості ведучого валу  $\omega_{ведуч.}$  Від кута повороту ведучого валу представлені на рис. 2.

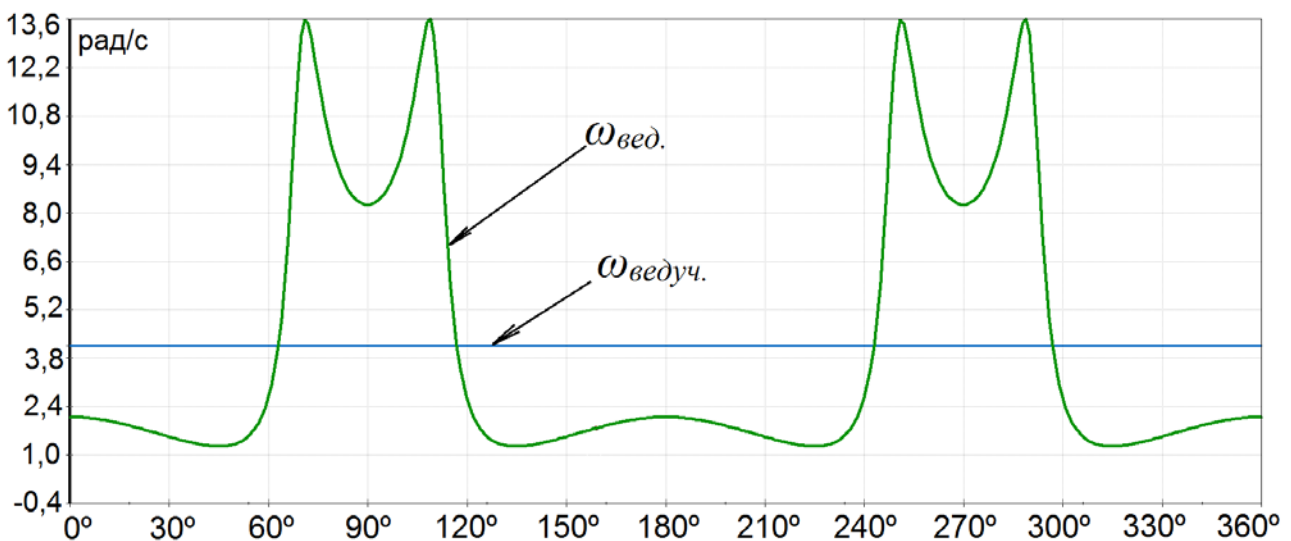


Рис. 2. Графічна залежність зміни кутової швидкості веденого валу  $\omega_{вед.}$  При постійній кутовій швидкості ведучого валу  $\omega_{ведуч.}$  Від кута повороту ведучого валу

Кутова швидкість  $\omega_{вед.}$  Веденого валу даної машини буде непостійною та змінюватиметься в діапазоні від 1,4 до 13,6 рад/с. Також було підтверджено, що значення кутових швидкостей не залежать від пропорційної зміни геометричних розмірів ланок механізму, від так дана залежність зміни кутової швидкості веденого валу  $\omega_{вед.}$  При постійній кутовій швидкості ведучого валу  $\omega_{ведуч.}$  Від кута повороту ведучого валу буде справедливою для будь-якого типорозміру даної машини.

Непостійна кутова швидкість обертання веденого валу спричинятиме рух двох робочих ємкостей з різною інтенсивністю. Ймовірно, що робоча ємкість, яка з'єднана з

веденою вилкою буде рухатися інтенсивніше ніж робоча ємкість, яка з'єднана з ведучою вилкою. Для того, щоб зрозуміти у скільки разів кінематичні параметри переміщення однієї ємкості будуть більші за кінематичні параметри переміщення іншої ємкості, було проведено подальше кінематичне дослідження моделі вищеописаної машини у САПР SolidWorks.

Просторовий рух робочих ємкостей складається з чотирьох простих складових рухів, а саме: за один оберт ведучого валу відбувається один повний поворот обох робочих ємкостей навколо їх повздожньої осі, а також переміщення в кожній з трьох взаємно перпендикулярних площинах: горизонтальній, вертикальній та профільній.

З попередніх досліджень відомо [20], що інтенсивність та зміна режимів руху технологічного середовища в середній робочій ємкості залежить від максимального значення прискорень точок, які співпадають з центрами торців робочої ємкості. В результаті цього досліджували кінематичні параметри (поступальну швидкість та поступальне прискорення) чотирьох точок, які співпадають з центрами торців кожної з ємкостей: точка  $A$  розташована в центрі торця робочої ємкості, яка з'єднана з ведучою вилкою, точка  $B$  – в центрі протилежного торця, точка  $D$  – в центрі торця робочої ємкості, яка з'єднана з веденою вилкою, точка  $C$  – в центрі протилежного торця даної ємкості. Для визначення кінематичних параметрів визначених точок на моделі машини було виділено дві нерухомі системи координат  $X_A Y_A Z_A$  та  $X_B Y_B Z_B$  відносно яких визначали відповідні кінематичні параметри. Модель машини з позначеними точками на робочих ємкостях, а також дві нерухомі системи координат  $X_A Y_A Z_A$  та  $X_B Y_B Z_B$  представлено на рис. 3.

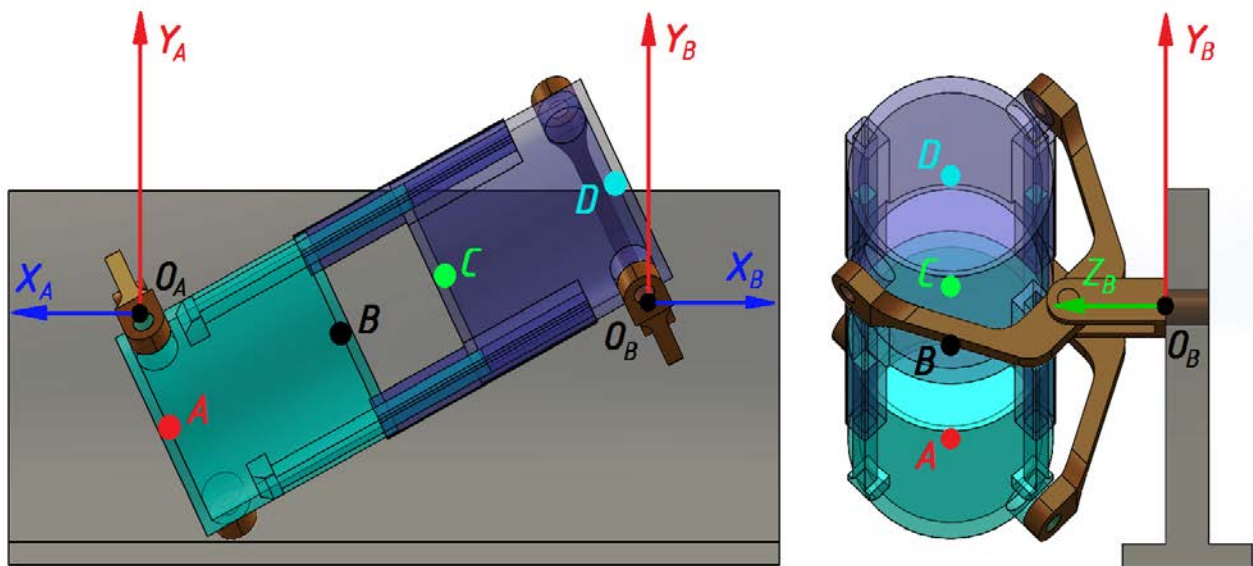


Рис. 3. Модель машини з позначеними точками на робочих ємкостях та двома нерухомими системами координат  $X_A Y_A Z_A$  та  $X_B Y_B Z_B$

Далі визначали та порівнювали між собою складові поступальної швидкості й поступального прискорення точок  $A$ ,  $B$ ,  $C$  та  $D$ . На рис. 4 представлено залежність зміни складових поступальних швидкостей точок  $A$ ,  $B$ ,  $C$  та  $D$ , які визначені на робочих ємкостях машини від кута повороту ведучого валу, а на рис 5. Представлено залежність зміни

складових поступальних прискорень точок  $A$ ,  $B$ ,  $C$  та  $D$ , які визначені на робочих ємкостях машини від кута повороту ведучого валу.

Після аналізу графіків, які представлені на рис. 4 та рис. 5 було зроблено наступні висновки. На відміну від кінематичних характеристик машини зі однією робочою ємкістю, які представлені в роботі [15], де поступальна швидкість та поступальне прискорення точок за один оберт ведучого валу мають дві фази зміни, в досліджуваній конструкції машини з двома робочими ємкостями поступальна швидкість та поступальне прискорення кожної з точок, що визначені на робочих ємкостях, за один оберт ведучого валу, будуть мати по чотири фази зміни, дві з яких будуть більш виражені. Це свідчить про те, що робочий масив під час виконання відповідних технологічних операцій, буде більш інтенсивно струшуватися, що сприятиме підвищенню продуктивності виконання обробки деталей.

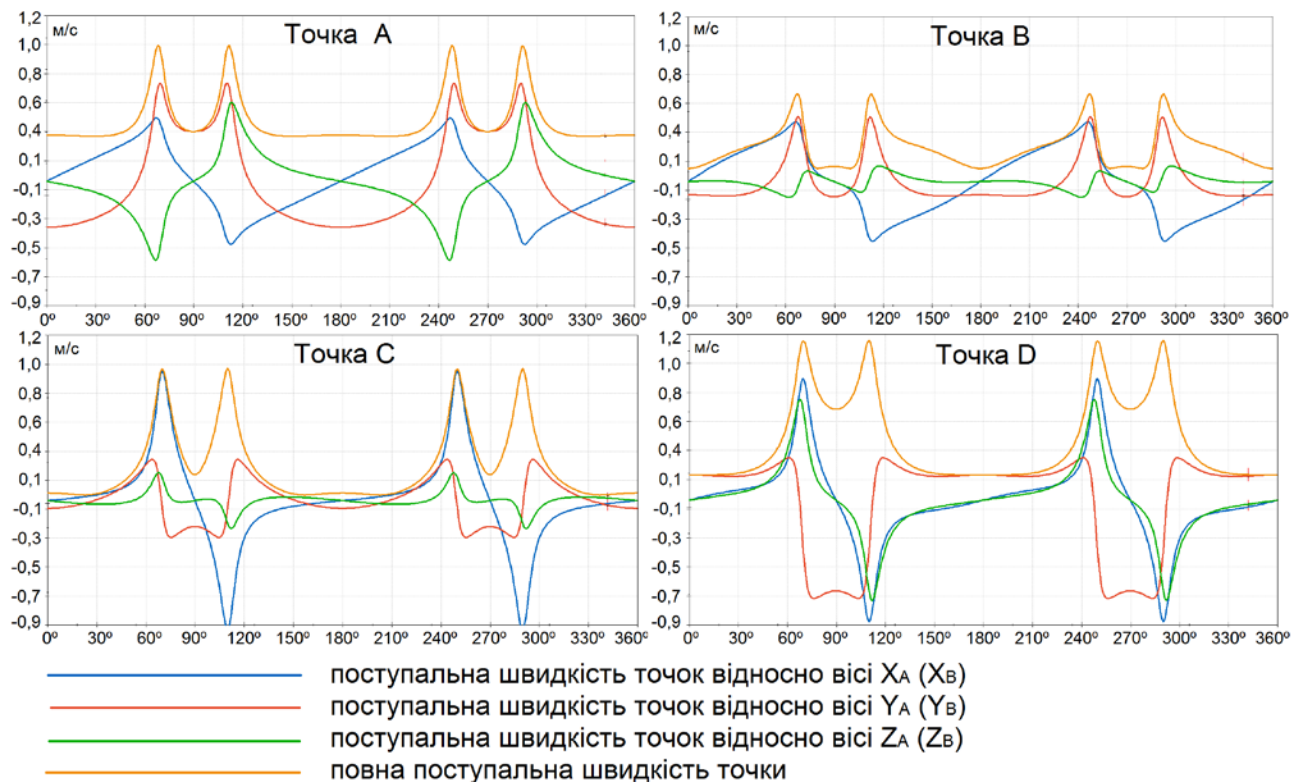


Рис. 4. Залежність зміни складових поступальних швидкостей точок, які визначені на робочих ємкостях машини від кута повороту ведучого валу

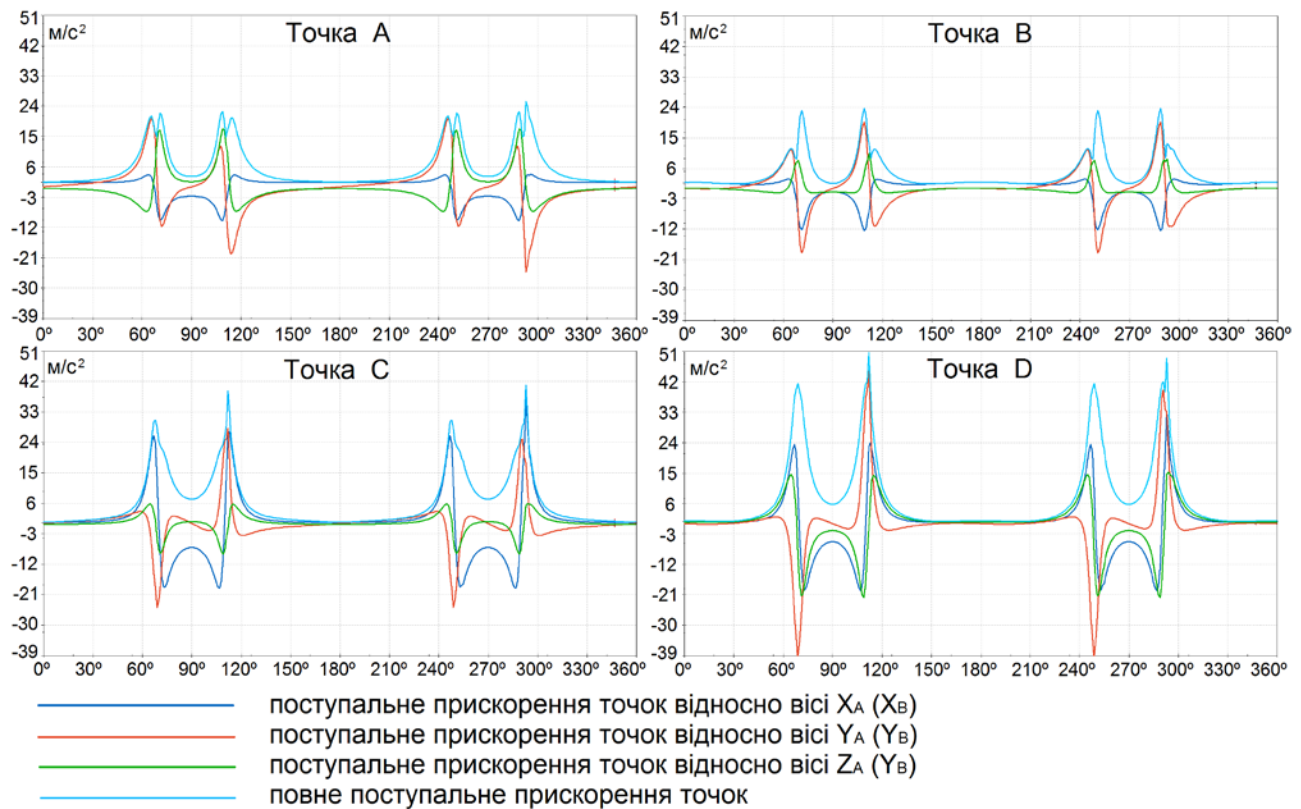


Рис. 5. Залежність зміни складових поступальних прискорень точок, які визначені на робочих ємкостях машини від кута повороту ведучого валу

При порівнянні кінематичних характеристик точок двох робочих ємкостей, очевидно, що кінематичні параметри поступальної швидкості та поступального прискорення точок  $C$  та  $D$  робочої ємкості, яка з'єднана з веденою вилкою будуть мати дещо більші екстремальні та амплітудні значення за кінематичні характеристики точок  $A$  та  $B$  робочої ємкості, яка з'єднана з ведучою вилкою. Так, наприклад, повне поступальне прискорення точки  $D$  буде змінюватися в діапазоні від 1 до  $51 m/c^2$  всього лиш за  $30^\circ$  повороту ведучого валу, на відміну від повного прискорення точки  $A$ , діапазон зміни якого буде в межах  $2 - 22 m/c^2$  відбуватиметься приблизно за  $45^\circ$  повороту ведучого валу. В цілому, максимальні та амплітудні значення кінематичних параметрів робочої ємкості, що з'єднана з веденою вилкою будуть в  $1,5 - 2$  рази більші за відповідні значення кінематичних параметрів робочої ємкості, яка з'єднана з ведучою вилкою. Було перевірено, що приблизно така само різниця між кінематичними параметрами обох ємкостей буде зберігатися й при заданні іншої кутової швидкості обертання ведучого валу машини. Різниця в кінематичних параметрах обох ємкостей зумовлена нерівномірним обертанням веденого валу машини.

Кінематичні параметри робочих ємкостей, зокрема, зміна поступального прискорення безпосередньо впливають на інтенсивність руху робочого масиву в середині робочих ємкостей під час виконання відповідних технологічних операцій. Таким чином, інтенсивність переміщення робочого масиву в ємкості, що з'єднана з веденою вилкою буде більша за інтенсивність переміщення робочого масиву в ємкості, що з'єднана з ведучою вилкою. Від

так, й час, що витрачається на виконання відповідної технологічної операції буде різним для обох рухомих робочих ємкостей.

На відміну від «базової» конструкції машини [7, 8], де кінематичні параметри точок протилежних торців робочої ємкості відрізняються між собою в декілька разів, кінематичні параметри точок протилежних торців робочих ємкостей досліджуваної конструкції машини відрізняються між собою на незначну величину. Наприклад, крива зміни поступальної швидкості точок  $A$  та  $B$  робочої ємкості, яка з'єднана з ведучою вилкою, а також крива зміни поступальної швидкості точок  $C$  та  $D$  робочої ємкості, яка з'єднана з веденою вилкою повністю співпадають між собою. Аналогічно, співпадають між собою криві повного поступального прискорення точок  $A$  та  $B$ . Екстремальні значення повного поступального прискорення точок  $C$  та  $D$  відрізняються між собою на відносно незначну величину – приблизно  $10 \text{ м/с}^2$ .

Оскільки кінематичні параметри протилежних торців обох робочих ємкостей майже не відрізняються між собою, то це сприятиме переміщенню робочого масиву між протилежними торцями обох ємкостей в зустрічних напрямках з однаковою інтенсивністю. В результаті чого можна забезпечити реалізацію однакового режиму руху робочого масиву при незмінній постійній кутовій швидкості ведучого валу упродовж усього процесу виконання відповідної технологічної операції.

При порівнянні кінематичних параметрів кожної з визначених на робочих ємкостях точок, очевидно, що найбільша амплітуда зміни поступального прискорення кожної з точок буде при переміщенні їх вздовж вертикальних осей  $Y_A$  та  $Y_B$ , найменша – при переміщенні їх вздовж осей  $Z_A$  та  $Z_B$ . Окрім того, торці робочої ємкості, яка з'єднана з веденою вилкою, будуть мати значні кінематичні параметри при переміщенні вздовж горизонтальної осі  $X_A$  та  $X_B$ , що зумовлено виникненням додаткової складової руху, яка виникає при поступальному переміщенні обох ємкостей одна відносно іншої.

За допомогою проведеного кінематичного дослідження конструкції галтувальної машини з двома рухомими робочими ємкостями, що виконують складний просторовий рух, що виконане за допомогою САПР SolidWorks Motion, досліджено основні кінематичні параметри просторового переміщення обох ємкостей, що в подальшому дають можливість раціонально проектувати відповідні технологічні процеси.

#### **Висновки:**

1. Із застосуванням САПР SolidWorks Motion проведено 3D моделювання з подальшим дослідженням основних кінематичних параметрів галтувальної машини з двома рухомими ємкостями, що з'єднані між собою поступальною кінематичною парою та виконують складний просторовий рух для можливості подальшого прогнозування технологічного результату на стадії проектування.

2. Встановлено, що кінематичні параметри двох ємкостей відрізняються між собою, зокрема, інтенсивність переміщення робочого масиву в ємкості, що з'єднана з веденою вилкою буде більша за інтенсивність переміщення робочого масиву в ємкості, що з'єднана з ведучою вилкою. В результаті чого, під час виконання відповідних технологічних операцій, інтенсивність переміщення робочого масиву у двох ємкостях відрізнятиметься між собою.



3. Встановлено, що торці кожної з робочих ємкостей переміщуються практично з однаковими кінематичними параметрами. Це буде забезпечувати переміщення робочого масиву між протилежними торцями обох ємкостей в зустрічних напрямках з однаковою інтенсивністю та реалізацію однакового режиму руху робочого масиву при незмінній постійній кутовій швидкості ведучого валу упродовж усього процесу виконання відповідної технологічної операції.

**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»

**Література**

1. 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;
2. 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;
3. 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;
4. 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;
5. Пат. України 38253, МПК В24В 31/033. Спосіб об'ємної обробки поверхні деталі / Буря О.І., Фасатуров С.С., Кобець А.С., Деркач О. Д., заявник та патентовласник Дніпропетровський державний аграрний університет – №u2000063429; заяв. 12.06.2000, опуб. 15.05.2001, бюл. № 4/2001;
6. Шумакова Т. А. Инструмент для виброабразивной обработки деталей: монографія / Т. А. Шумакова, В. И. Шаповалов, Ю. И. Гутько;

**References**

1. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., & Malyshev V. (2007). Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosteï dlia obrobky polimernykh detalei: monohrafiia [Machines with complex movement of working capacities for processing of polymer parts]. Kyiv [in Ukraine];
2. Pershin, V., Odnolko, V., & Pershina, S. (2009). Pererabotka sypuchykh materialov v mashynakh barabannogo tipa [Processing bulk materials in drum type machines]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian];
3. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, Sukhenko AH, 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 neobkhidnoi 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 KNUTD*, 6, 9 – 17 [in Ukraine];
5. Burmistenkov, O. (2007). Vyrobnytstvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereinii 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

- Восточноукр. нац. ун-т им. В. Даля. - Луганск: Ноулідж, 2011. – 59 с;
7. 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;
8. 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;
9. Патент №108645, МПК В01F 11/00, В24В 31/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201600830; заяв. 02.02.2016, опуб. 25.07.2016, бюл. № 14;
10. Патент №89571, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Панасюк І.В., Залюбовський М.Г., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201313728; заяв. 26.11.2013, опуб. 25.04.2014, бюл. № 8;
11. Патент №108488, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201511872; заяв. 01.12.2015, опуб. 25.07.2016, бюл. № 14;
12. Патент №127438, МПК В24В 31/00 (2018.01). Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201803397; заяв. 30.03.2018, опуб. 25.07.2018, бюл. № 14;
13. Патент №127611, МПК В24В 37/00 (2018.01), В24В 37/07 (2012.01). Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201802817; заяв. 20.03.2018, опуб. 10.08.2018, бюл. № 15;
14. Патент №132178, МПК В01F 11/00 (2018.01). Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В., заявник та патентовласник Вищий навчальний заклад «Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна» – №u201809740; заяв. 01.10.2018, опуб. 11.02.2019, бюл. № 3;
15. 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;
- (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 KNUTD – Bulletin of the KNUTD*, 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, 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 TurbulaMixer Motion using Positron Emission Particle Tracking, CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences. [in English];

16. Патент №105556, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201509212; заяв. 25.09.2015, опуб. 25.03.2016, бюл. № 6;
17. Патент №109083, МПК В01F 11/00, В24В 31/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201601467; заяв. 18.02.2016, опуб. 10.08.2016, бюл. № 15;
18. Патент №126647, МПК В01F 11/00 (2018.01). Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201801469; заяв. 15.02.2018, опуб. 25.06.2018, бюл. № 12;
19. 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;
20. 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
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.
17. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, inventors (2016). Mashyna dlia obrobky detalei [Machine for processing parts]. Ukrainian patent, no. 109083;
18. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, inventors (2018). Mashyna dlia obrobky detalei [Machine for processing parts]. Ukrainian patent, no. 126647;
19. 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 KNUTD – Bulletin of the KNUTD*, 5, 40-46 [in Ukraine];
20. 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]

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С ДВУМЯ ЕМКОСТЯМИ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ СЛОЖНОЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

ЗАЛЮБОВСКИЙ М.Г.<sup>1</sup>, ПАНАСЮК И.В.<sup>2</sup>, МАЛЫШЕВ В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Открытый международный университет развития человека «Украина»,

<sup>2</sup> Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Исследование основных кинематических параметров галтовочной машины с двумя подвижными емкостями, которые соединены между собой поступательной кинематической парой и выполняют сложное пространственное движение для возможности дальнейшего прогнозирования технологического результата на стадии проектирования такого оборудования и соответствующих технологических операций обработки деталей.

**Методика.** С применением системы автоматизированного проектирования SolidWorks-2016 Motion проведено 3D моделирование, с последующим выполнением кинематического анализа, машины для обработки деталей с двумя подвижными емкостями, которые соединены между собой поступательной кинематической парой и выполняют сложное пространственное движение. Суть кинематического анализа заключалась в определении линейных скоростей и ускорений точек, совпадающих с торцами рабочих емкостей машины.

**Результаты.** На основе 3D моделирования и кинематического анализа в системе автоматизированного проектирования SolidWorks-2016 Motion определены некоторые

кинематические параметры машины, в частности, в виде графических зависимостей получен закон изменения угловой скорости ведомого вала машины, исследовано изменение поступательной скорости и поступательного ускорения четырех точек, которые условно расположены в центре торцов каждой из рабочих емкостей.

**Научная новизна.** Установлена взаимосвязь между некоторыми кинематическими параметрами (линейная скорость и линейное ускорение) разработанной конструкции машины с двумя подвижными емкостями, которые выполняют сложное пространственное движение.

**Практическая значимость.** Установлено, что кинематические параметры двух емкостей машины отличаются между собой, в результате чего, во время выполнения соответствующих технологических операций, интенсивность перемещения рабочего массива в двух емкостях будет отличаться между собой. Кроме того, торцы каждой из рабочих емкостей перемещаются практически с одинаковыми кинематическими параметрами, что будет способствовать перемещению рабочего массива между противоположными торцами обеих емкостей во встречных направлениях с одинаковой интенсивностью. Полученные результаты дают возможность определить наиболее рациональное функциональное назначение исследуемой машины.

**Ключевые слова:** сложное пространственное движение, рабочая емкость, кинематические параметры, поступательное ускорение, поступательная скорость.

## STUDY OF KINEMATIC PARAMETERS OF A MACHINE FOR PROCESSING PARTS WITH TWO CAPACITIES EXECUTING COMPLEX SPATIAL MOVEMENT

ZALYUBOVSKYI M.G.<sup>1</sup>, PANASYUK I.V.<sup>2</sup>, MALYSHEV V.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Open University of Human Development «Ukraine»

<sup>2</sup> Kyiv National University of Technologies and Design

**Goal.** Investigation of the main kinematic parameters of a shredding machine with two moving tanks connected by a translational kinematic pair and performing complex spatial motion to be able to further predict the technological result at the design stage of such equipment and the corresponding technological operations of machining parts.

**Method.** Using the SolidWorks-2016 Motion computer-aided design system, 3D modeling was carried out, followed by kinematic analysis, of a machine for processing parts with two movable capacities, which are interconnected by a translational kinematic pair and perform complex spatial motion. The essence of kinematic analysis was to determine the linear velocities and accelerations of points that coincide with the ends of the working tanks of the machine.

**Results.** Based on 3D modeling and kinematic analysis in the SolidWorks-2016 Motion computer-aided design system, some kinematic parameters of the machine are determined, in particular, the law of the change in the angular velocity of the driven shaft of the machine is obtained in the form of graphical dependencies, the change in the translational speed and translational acceleration of four points, which are conventionally located in the center, is studied the ends of each of the working capacities.

**Scientific novelty.** The relationship between some kinematic parameters of the developed machine design with two moving capacities that perform complex spatial motion is established.

**Practical importance.** It was found that the kinematic parameters of the two tanks of the machine differ from each other, as a result of which, during the execution of the corresponding technological operations, the intensity of movement of the working array in the two capacities will differ from each other. In addition, the ends of each of the working capacities move with almost the same kinematic parameters, which will facilitate the movement of the working array between the opposite ends of both tanks in opposite directions with the same intensity. The results obtained make it possible to determine the most rational functional purpose of the machine under study.

**Key words:** complex spatial motion, working capacity, kinematic parameters, translational acceleration, translational speed.