

М. Г. Залюбовський¹, І. В. Панасюк²,
С. О. Кошель², Г. В. Кошель¹

МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРИВОДУ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ РОБОЧОЇ ЄМНОСТІ

¹Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»,
вул. Львівська, 23, Київ, Україна; e-mail: markzalubovskiy@gmail.com

²Київський національний університет технологій та дизайну,
вул. Немировича-Данченка, 2, Київ, Україна; e-mail: panasjuk.i@knuutd.com.ua

Abstract. The motion of the technological environment inside of the working tank, which performs a complex spatial motion in a barreling machine of the “Turbula” type, is experimentally studied. It is established that the different nature of rotation of the drive and driven shafts of the barreling machine will lead to the creation of conditions that significantly “narrow” the scope of use of this equipment. Analytically, the law of change of the angular velocity of the driving shaft of the barreling machine is obtained, the implementation of which provides the same intensity of movement of the technological environment between opposite ends of the tank in opposite directions and the formation of one mode of motion throughout the machining process. The design of the drive which allows realizing the obtained law of change of angular speed on a leading shaft of the machine is developed.

Key words: shredding machine, spatial mechanism, mode of motion, law of change of angular velocity, drive.

Вступ.

Окремим типом механічної обробки деталей вважаються галтувальні технологічні процеси [1], які реалізуються внаслідок руху оброблюваних деталей (металевих чи полімерних) разом з технологічним середовищем в середині спеціальних робочих ємностей з різним характером руху. Обробка деталей відбувається [7] через їх контактну взаємодію між собою, з компонентами технологічного середовища та внутрішніми стінками робочих ємностей. В результаті обробки відбувається пластична мікродеформація оброблюваних поверхонь деталей або руйнування окремих елементів деталей.

До галтувальних технологічних процесів відносяться: процеси покращення якості поверхні деталей [5] (шліфування та полірування), відокремлення деталей від ливників [3], заокруглення гострих кромки, очищення поверхонь металевих деталей від продуктів корозії, облою, заусенців, зміцнення поверхневого шару, тощо.

Для реалізації галтувальних технологічних процесів використовують різні типи обладнання: машини з обертовими ємностями [2], вібраційні машини [10, 9], шпіндельні, щіткові та роторні машини, машини зі складним просторовим рухом робочих ємностей [4].

В Україні машини з обертовими ємностями та вібраційні машини є найбільш поширеним типом обладнання. Однак, таке обладнання є найменш ефективним. На обробку деталей може витратитися до 38 годин безперервної роботи машини [15], а величина припуску, яку можна зняти з поверхні деталі за допомогою вібраційної установки, не перевищує 0,025 мм [11]. Такі типи машин, як щіткові, роторні та шпінде-

льні зазвичай мають вузьку сферу використання. Перспективним вважається використання галтувального обладнання з ємностями, які виконують складний просторовий рух [16]. Зокрема, це може бути обладнання з конструкцією типу «Turbula» [17] зі складним просторовим рухом робочої ємності, яка була розроблена у 1966 році швейцарською фірмою Willy A. Bachofen (WAB) [19]. У подальшому будемо називати цю конструкцію «базова». У цій машині робоча ємність виконує одночасне переміщення відносно трьох взаємно перпендикулярних площин, а також обертається навколо власної осі. Такий рух робочої ємності сприяє підвищенню інтенсивності руху технологічного середовища, у результаті чого можна досягнути значного підвищення продуктивності виготовлення деталей з одночасним зменшенням енерговитрат.

Дана конструкція машини утворює собою просторовий шарнірний механізм з оберतालними кінематичними парами, що зі структурної точки зору представляє собою подвійну шарнірну карданну передачу [8], у якій кут між осями становить 180° (по 90° на кожен кардан). Окрім того, у механізмі наявним є один пасивний зв'язок [12].

Однією із відомих властивостей карданних передач є нерівномірне обертання веденого валу при постійній кутовій швидкості ведучого. Такою самою властивістю характеризується і подвійна шарнірна карданна передача «базової» конструкції машини. Відомо [8], що при постійній кутовій швидкості ведучого валу машини, ведений вал буде обертатися з нерівномірною кутовою швидкістю, при чому, коефіцієнт нерівномірності обертання веденого валу становитиме $\delta = 1,5$.

Попередніми дослідженнями встановлено [18], що таке нерівномірне обертання веденого валу буде призводити до просторового переміщення торців робочої ємності з різною інтенсивністю. Частина робочої ємності, яка кінематично з'єднана з веденою вилкою, циклічно буде різко прискорюватися та сповільнятися, на відміну від частини робочої ємності, кінематично з'єднаної з ведучим валом, яка буде переміщатися рівномірно. Така різка зміна орієнтації одного з торців робочої ємності у просторі здатна викликати «удар» по оброблюваних деталях, призвести до зниження інтенсивності галтувальних технологічних процесів обробки деталей, особливо при високих кутових швидкостях ведучого валу. В результаті сфера використання машини звужується, наприклад, стає неможливим застосування даної машини для обробки «делікатних» фурнітурних деталей, тощо.

В §1 даної статті експериментально досліджено переміщення технологічного середовища у середині робочої ємності, яка виконує складний просторовий рух. У §2, на основі аналітичних досліджень та за допомогою САПР SolidWorks, отримано необхідну залежність зміни кутової швидкості ведучого валу машини, що буде забезпечувати просторове переміщення протилежних торців робочої ємності з однаковою інтенсивністю. У §3 описано спеціальну конструкцію приводу машини, що дозволяє реалізувати отриману залежність зміни кутової швидкості на ведучому валу машини.

§1. Експериментальне дослідження переміщення технологічного середовища у середині робочої ємності, яка виконує складний просторовий рух.

Розглянемо «базову» конструкцію галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємності [17]. Модель машини представлено на рис. 1, кінематична схема просторового механізму машини представлена на рис. 2.

Машини містить станину 1, ведучий 2 та ведений 6 вали, що встановлені в станині паралельно в одній площині та з'єднані між собою подвійним просторовим шарніром, який виконаний у вигляді ведучої вилки 3, веденої вилки 5 та робочої ємності 4, що закріплена між вилками на діаметрально взаємно перпендикулярних геометричних осях 7 та 8, відповідно. Рухомі ланки машини утворюють собою просторовий шестиланковий механізм з оберतालними кінематичними парами А, В, С, D, Е та F.

Дослідження руху технологічного середовища виконувалося на експериментальному стенді машини з наступними геометричними параметрами: довжина ємності – 0,16 м, діаметр ємності – 0,12 м, об'єм ємності – 0,0018 м³ (1,8 л). Фото експериментального стенду представлено на рис. 3.

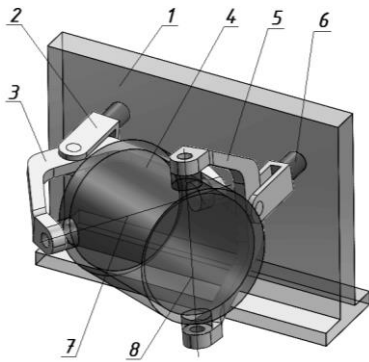


Рис. 1

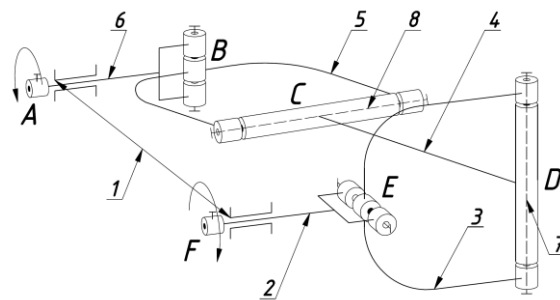


Рис. 2

Робоча ємність з прозорими стінками була заповнена частинками, що мають приблизно однакову масу, форму та розмір на 40% від її загального об'єму. Дослідження руху технологічного середовища проводилося при зміні кутової швидкості в діапазоні від 1,1 до 5,3 рад/с. Застосовано методи швидкісної відеозйомки руху технологічного середовища крізь прозорі стінки ємності за допомогою відеокамери, встановленої у вертикальній площині. На основі сповільненого перегляду відеозаписів було досліджено характер переміщення технологічного середовища в середині робочої ємності.



Рис. 3

Таким чином, експериментально було встановлено, що технологічне середовище за рахунок різкого прискорення частини робочої ємності, яка з'єднана з веденою вилкою, буде переміщатися з різною інтенсивністю між її торцями в протилежних напрямках фактично при будь-якій постійній кутовій швидкості ведучого валу з представленого вище діапазону.

При кутовій швидкості ведучого валу в 1,1 рад/с режим руху був наближений до каскадного, частинки технологічного середовища, здебільшого, не відділялися одна від одної, а перековувалися та проковзували по поверхні ємності та одна відносно іншої. Однак, через кожні 180° повороту ведучого валу, частина ємності, що з'єднана з веденою вилкою, під час свого руху вниз різко прискорювалася, що зумовлювало виникнення явних проявів водоспадного режиму руху. Фрагменти переміщення технологічного середовища при кутовій швидкості ведучого валу в 1,1 рад/с представлені на рис. 4.

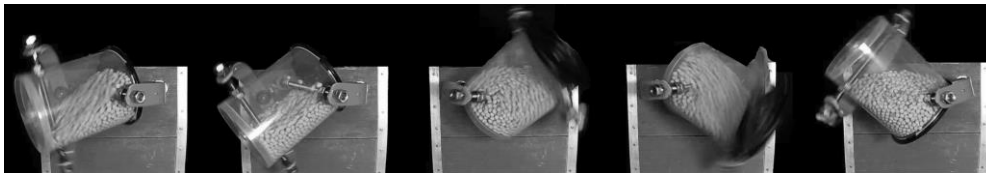


Рис. 4

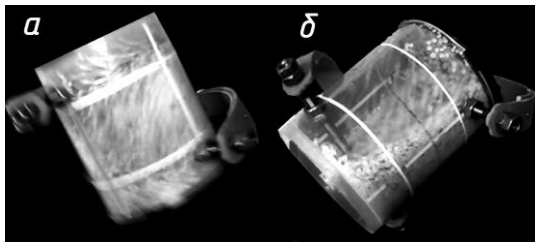


Рис. 5(а – б)

При кутових швидкостях ведучого валу у 2,1 рад/с, 3,2 рад/с та 4,2 рад/с одночасно були добре виражені одразу два режими руху технологічного середовища – каскадний та водоспадний. Переміщаючись до торця ємності, який розташований у місці з'єднання з веденою вилкою, практично усе технологічне середовище перебувало у стані вільного польоту, реалізуючи при цьому водоспадний режим руху (рис. 5, а). При переміщенні у зворотному напрямі (рис. 5, б), технологічне середовище рухалося без відриву від стінок ємності з утворенням каскадного режиму руху. Це зумовлено тим, що частина ємності, яка з'єднана з ведучою вилкою, рухається відносно рівномірно, без різких прискорень та сповільнень. Загальний режим руху був змішаним з однаковим проявом каскадного та водоспадного режимів.

При досягненні кутової швидкості в 5,3 рад/с режим руху став наближеним до водоспадного. Тим не менш, спостерігалася різна інтенсивність руху технологічного середовища при переміщенні від одного торця ємності до протилежного та навпаки. При переміщенні до торця ємності, який розташований у місці з'єднання з ведучою вилкою, інтенсивність переміщення технологічного середовища була значно меншою ніж при переміщенні у зворотному напрямі. Характер переміщення технологічного середовища при кутовій швидкості ведучого валу в 5,3 рад/с представлений на рис. 6.

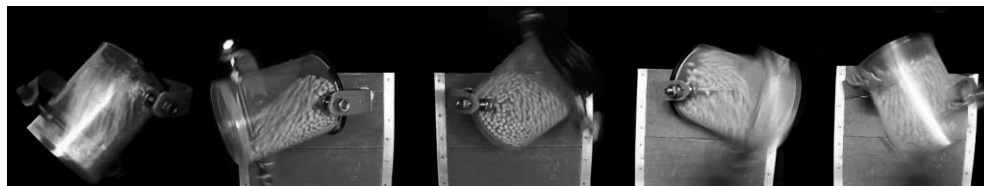


Рис. 6

Було підтверджено, що обертання ведучого валу машини з постійною кутовою швидкістю, а веденого з нерівномірною кутовою швидкістю буде створювати умови, при яких технологічне середовище буде переміщатися з різною інтенсивністю між протилежними торцями ємності у зустрічних напрямках. Таким чином, одночасно проявляються два режими руху технологічного середовища – каскадний та водоспадний. Такий режим обробки придатний не для всіх галтувальних технологічних операцій. Більшість галтувальних технологічних операцій рекомендовано виконувати при одному режимі руху технологічного середовища. Наприклад, шліфування та полірування – при каскадному режимі, відділення деталей від ливників – лише при водоспадному режимі. Необхідним є розробка такої конструкції приводу, яка б змогла забезпечити просторове переміщення протилежних торців ємності з однаковою інтенсивністю.

§2. Аналітичне визначення необхідної залежності зміни кутової швидкості ведучого валу галтувальної машини.

Встановимо залежність зміни кутової швидкості веденого валу, провівши кінематичне дослідження «базової» конструкції машини в САПР SolidWorks. Геометричні параметри моделі машини приймали аналогічними до геометричних параметрів експериментального стенду. Ведучому валу машини було задано обертання з постійною кутовою швидкістю $\omega_{\text{ведуч}} = 6,3$ рад/с. За кут повороту ведучого валу, який рівний нулю градусів, було прийнято таке положення рухомих ланок машини, при якому вісь кріплення ведучої вилки до робочої ємності є горизонтальною. На рис. 7 представлено графічну залежність кутової швидкості веденого валу від кута повороту ведучого.

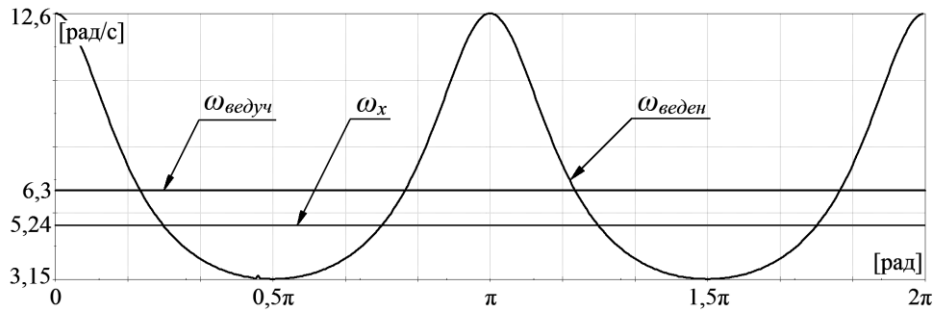


Рис. 7

Як бачимо з рис. 7, при постійній кутовій швидкості ведучого валу $\omega_{\text{ведуч}} = 6,3$ рад/с, кутова швидкість веденого валу змінювалася за залежністю в діапазоні $\omega_{\text{ведуч}} = (0,52)\omega_{\text{ведуч}}$ рад/с. Оскільки значення кутових швидкостей не залежать від пропорційної зміни геометричних розмірів ланок механізму, то така залежність буде справедливою для будь-якого типорозміру даної машини. Амплітудні значення кутової швидкості веденого валу змінюються 4 рази за один його оберт; умовній осі абсцис відповідає значенням кутової швидкості $\omega_x = 5,24$. У свою чергу:

$$\omega_x = 0,83 \cdot \omega_{\text{ведуч}} \quad (2.1)$$

Розрахуємо коефіцієнт нерівномірності обертання веденого валу δ_1 по відношенню до постійної кутової швидкості $\omega_{\text{ведуч}}$ ведучого валу:

$$\delta_1 = \frac{\omega_{\text{веден}}^{\max} - \omega_{\text{веден}}^{\min}}{\omega_{\text{ведуч}}} = 1,5, \quad (2.2)$$

де $\omega_{\text{веден}}^{\max}$ та $\omega_{\text{веден}}^{\min}$ екстремальні значення залежності зміни кутової швидкості веденого валу.

Аналітично було отримано залежність зміни кутової швидкості веденого валу, що виникає при постійній кутовій швидкості ведучого валу:

$$\omega_{\text{веден}} = 0,83\omega_{\text{ведуч}} + 0,75\omega_{\text{ведуч}} \sin(2\varphi + \pi/2) + |0,42\omega_{\text{ведуч}} \sin(2\varphi + \pi/2)|. \quad (2.3)$$

Якщо $0,42\omega_{\text{ведуч}} \sin(2\varphi + \pi/2) \geq 0$, тобто $x \in [-\pi/4 + \pi n; \pi/4 + \pi n]$, тоді

$$\omega_{\text{веден}} = 0,83\omega_{\text{ведуч}} + 1,17\omega_{\text{ведуч}} \sin(2\varphi + \pi/2). \quad (2.4)$$

Рівняння (2.4) описує частину кривої, яка розташована вище осі абсцис ω_x .

Якщо $0,42\omega_{\text{ведуч}} \sin(2\varphi + \pi/2) < 0$, тобто $x \in [\pi/4 + \pi n; 3\pi/4 + \pi n]$, тоді:

$$\omega_{\text{веден}} = 0,83\omega_{\text{ведуч}} + 0,33\omega_{\text{ведуч}} \sin(2\varphi + \pi/2), \quad (2.5)$$

де φ – кут повороту веденого валу.

Рівняння (2.5) описує ту частину кривої, яка розташована нижче умовної осі абсцис ω_x .

З метою розширення меж використання даного обладнання постає проблема щодо реалізації такого просторового переміщення робочої ємності, яке створювало б умови для однакової інтенсивності руху технологічного середовища між її протилежними торцями у зустрічних напрямках та забезпечувало б реалізацію одного режиму руху упродовж усього процесу обробки деталей.

Відомо [6], що досягнути таких критеріїв можливо за рахунок нівелювання різниці між максимальними значеннями повних прискорень точок, котрі умовно співпадають з центрами торців робочої ємності. Відповідно, для досягнення такого ефекту обидва вали машини повинні були б обертатися з постійною кутовою швидкістю, однак, сама конструкція карданної передачі, априорі, унеможлиблює досягнення такого ефекту. Тому, вирішення даної задачі полягає у наданні ведучому валу обертання з нерівномірною кутовою швидкістю, що буде впливати на зменшення амплітуди зміни кутової швидкості веденого валу. Інакше кажучи, необхідно забезпечити реалізацію циклічної зміни кутових швидкостей ведучого та веденого валів машини таким чином, щоб їх екстремуми знаходилися у протифазі з однаковим амплітудним значенням. Таким чином, залежність зміни кутової швидкості ведучого валу повинна мати наступний вигляд:

$$\omega_{\text{ведуч}} = \omega_{\text{серед}} - \omega_{\text{ампл}} \sin(2\varphi + \pi/2), \quad (2.6)$$

де $\omega_{\text{ампл}}$ – амплітуда зміни кутової швидкості ведучого (веденого) валу машини; $\omega_{\text{серед}}$ – середнє значення кутової швидкості ведучого (веденого) валів машини.

Залежність зміни кутової швидкості веденого валу буде обернена до залежності зміни кутової швидкості ведучого валу та матиме вигляд:

$$\omega_{\text{веден}} = \omega_{\text{серед}} + \omega_{\text{ампл}} \sin(2\varphi + \pi/2). \quad (2.7)$$

Оскільки екстремуми залежності зміни кутової швидкості ведучого та веденого валів повинні бути з однаковими амплітудними значеннями, то:

$$\omega_{\text{ампл}} = \frac{\omega_{\text{ведуч}}^{\text{max}} - \omega_{\text{ведуч}}^{\text{min}}}{2} = \frac{\omega_{\text{веден}}^{\text{max}} - \omega_{\text{веден}}^{\text{min}}}{2}, \quad (2.8)$$

де $\omega_{\text{ведуч}}^{\text{max}}$ та $\omega_{\text{ведуч}}^{\text{min}}$ екстремальні значення залежності зміни кутової швидкості ведучого валу.

Середнє значення кутової швидкості ведучого та веденого валів можна визначити наступним чином:

$$\omega_{\text{серед}} = \frac{\omega_{\text{ведуч}}^{\text{max}} + \omega_{\text{ведуч}}^{\text{min}}}{2} = \frac{\omega_{\text{веден}}^{\text{max}} + \omega_{\text{веден}}^{\text{min}}}{2}. \quad (2.9)$$

Згідно розрахованого за виразом (2.2) коефіцієнта нерівномірності δ_1 екстремальні значення залежності зміни кутової швидкості веденого валу по відношенню до постійної кутової швидкості $\omega_{\text{ведуч}}$ ведучого валу були асиметричними. Ймовірно, що коефіцієнт нерівномірності δ_2 , при якому екстремуми залежності зміни кутової швидкості ведучого та залежності зміни кутової швидкості веденого валів будуть мати однакові амплітудні значення, визначатиметься, як обернено пропорційний до коефіцієнта нерівномірності δ_1 :

$$\delta_2 = \frac{1}{\delta_1} = 0,67. \quad (2.10)$$

Аналогічно визначимо екстремальні значення залежності зміни кутової швидкості ведучого валу:

$$\omega_{\text{ведуч}}^{\text{max}} = \frac{\omega_{\text{веден}}^{\text{max}}}{\delta_1} = 8,4. \quad (2.11)$$

$$\omega_{\text{ведуч}}^{\text{min}} = \frac{\omega_{\text{веден}}^{\text{min}}}{\delta_1} = 4,2. \quad (2.12)$$

Відповідно, розраховане за рівнянням (2.8) амплітудне значення коливань кутової швидкості ведучого та веденого валів становитиме $\omega_{\text{ампл}} = 2,1$, а розраховане за виразом (2.9) середнє значення кутової швидкості ведучого та веденого валів становитиме $\omega_{\text{серед}} = 6,3$.

Далі, за допомогою САПР SolidWorks перевіряли достовірність аналітичних досліджень. Зокрема, ведучому валу моделі машини було задано обертання згідно отриманої залежності зміни кутової швидкості (2.6) з розрахованими вище екстремальними значеннями. Після чого було визначено залежність зміни кутової швидкості веденого валу. Криву залежності зміни кутової швидкості ведучого валу та криву залежності зміни кутової швидкості веденого валу за один їх повний оберт представлено на рис. 8.

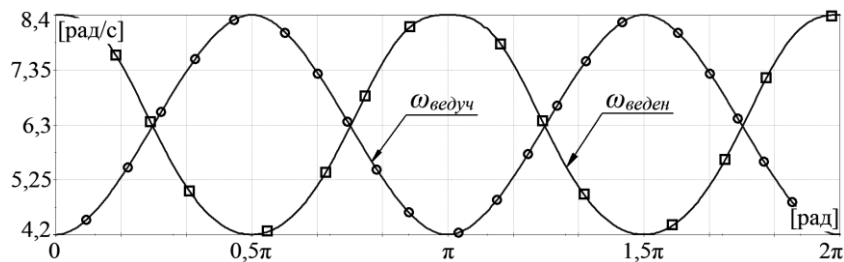


Рис. 8

Таким чином, досягнуто реалізацію циклічної зміни кутових швидкостей ведучого та веденого валів машини таким чином, щоб їх екстремуми знаходилися у протифазі з однаковим амплітудним значенням. При реалізації залежності зміни кутової швидкості ведучого валу (2.6) з діапазоном $\omega_{\text{ведуч}} = (4,2 \dots 8,4)$ еквівалентним до нього став діапазон зміни кутової швидкості веденого валу (2.7) $\omega_{\text{веден}} = (4,2 \dots 8,4)$.

Також, за допомогою САПР SolidWorks було досліджено максимальні значення повних прискорень точок, які умовно співпадають з центрами торців робочої ємності. При реалізації отриманої залежності зміни кутової швидкості (2.6) ведучого валу, максимальні значення цих повних прискорень точок стали рівними між собою. В результаті протилежні торці робочої ємності виконуватимуть просторове переміщення з однаковою інтенсивністю. Таким чином, було створено умови, які забезпечуватимуть однакову інтенсивність руху технологічного середовища між протилежними торцями ємності у зустрічних напрямках, а також будуть забезпечувати реалізацію одного режиму руху упродовж усього процесу обробки деталей.

§3. Розробка приводу, який дозволяє реалізувати отриману залежність зміни кутової швидкості на ведучому валу машини.

На основі вищесказаного було розроблено конструкцію приводу, який дозволяє реалізувати отриману залежність зміни кутової швидкості на ведучому валу машини. Вид зверху такої машини представлено на рис. 9, кінематична схема машини (з технологічним приводом) представлена на рис. 10.

Галтувальна машина працює наступним чином. При увімкненні електродвигуна 2, розташованого в станині 1, постійний обертальний рух через пасову передачу, утворену ведучим 4 та веденим 5 шківками, передається на ведучу вилку 8 карданної передачі, яка виконана заодно з валом привода 6, що встановлений в підшипниковій опорі 7. Далі, постійний обертальний рух, за допомогою карданної передачі, перетворюється в нерівномірне обертання веденої вилки 10, що відповідає залежності зміни кутової швидкості (2.6). Між осями валів 6 та 11 утворюється кут α . Нерівномірне обертання веденої вилки 10, що закріплена на ведучому валу 11 машини, який встановлений в підшипниковій опорі 13, передається на вилку 15 машини, котра через вісь 17 обертає робочу ємність 19, надаючи їй складного просторового переміщення з обертанням нав-

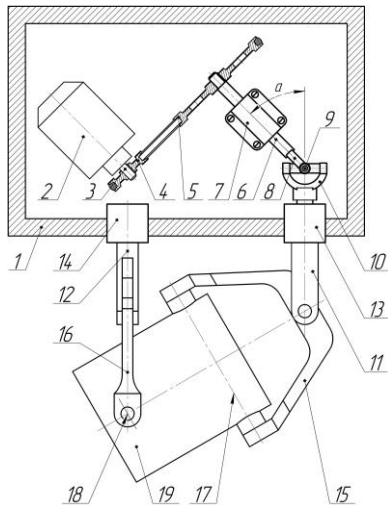


Рис. 9

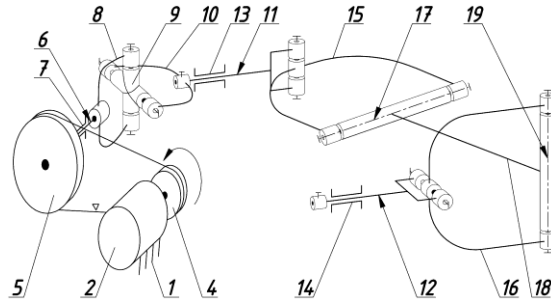


Рис. 10

коло власної осі. Такий рух робочої ємності 19 передається через вісь 18 на ведену вилку 16 машини, від вилки 16, на ведений вал 12, який встановлений в підшипникової опорі 14. Ведений вал 12 обертається нерівномірно згідно залежності зміни кутової швидкості (2.7).

Для того, щоб відтворити необхідну залежність зміни кутової швидкості на ведучому валу машини необхідно встановити значення кута α між осями валів карданної передачі (віссю валу привода 6 та віссю ведучого валу машини 11). У роботі [14] виведено вирази (3.1) та (3.2), які описують роботу карданної передачі:

$$\frac{\omega_2^{\max}}{\omega_1} = \frac{1}{\cos \alpha}; \quad (3.1)$$

$$\frac{\omega_2^{\min}}{\omega_1} = \cos \alpha, \quad (3.2)$$

де ω_1 – постійна кутова швидкість ведучої вилки карданної передачі; ω_2^{\max} , ω_2^{\min} – максимальне та мінімальне значення залежності зміни кутової швидкості веденої вилки карданної передачі, відповідно. Оскільки ведена вилка карданної передачі виконана заодно з ведучим валом машини, то:

$$\omega_2^{\max} = \omega_{\text{ведуч}}^{\max}; \quad (3.3)$$

$$\omega_2^{\min} = \omega_{\text{ведуч}}^{\min}. \quad (3.4)$$

З рівнянь (3.1) та (3.2) виразимо значення ω_1 та об'єднаємо їх в одне рівняння, при цьому, враховуючи рівності (3.3) та (3.4):

$$\omega_{\text{ведуч}}^{\max} \cos \alpha = \omega_1 = \frac{\omega_{\text{ведуч}}^{\min}}{\cos \alpha}. \quad (3.5)$$

Приведемо рівняння (3.5) до наступного вигляду:

$$\cos^2 \alpha = \frac{\omega_{\text{ведуч}}^{\min}}{\omega_{\text{ведуч}}^{\max}}. \quad (3.6)$$

У рівнянні (3.6) виразимо максимальне та мінімальне значення залежності зміни кутової швидкості ведучого валу через їх середнє значення:

$$\cos^2 \alpha = \frac{(2\omega_{\text{сеп}})/3}{(4\omega_{\text{сеп}})/3}. \quad (3.7)$$

Після виконаних арифметичних скорочень вираз (3.7) буде мати вигляд:

$$\cos^2 \alpha = 0,5. \quad (3.8)$$

У свою чергу, для лівої частини виразу (3.8) запишемо формулу для пониження ступеня тригонометричної функції:

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}. \quad (3.9)$$

Запишемо рівняння (3.8) з урахуванням виразу (3.9):

$$\frac{1 + \cos 2\alpha}{2} = 0,5. \quad (3.10)$$

Після відповідних перетворень, вираз (3.10) буде мати вигляд:

$$\cos 2\alpha = 0. \quad (3.11)$$

З рівняння (3.11) визначимо значення кута α :

$$\alpha = 0,5 \cdot \arccos 0 = 45^\circ. \quad (3.12)$$

Таким чином, встановлено, що значення кута α між осями валів карданної передачі, яке буде забезпечувати реалізацію залежності зміни кутової швидкості (2.6) на ведучому валу машини, повинно становити 45° .

Для забезпечення раціональної роботи машини для обробки деталей необхідно дотримуватися, щоб максимальні значення залежності зміни кутової швидкості (2.6), утвореної на веденій вилці 10, відповідали таким положенням ведучої вилки 15 машини, при яких її вісь 17 буде розташована вертикально, а мінімальні значення залежності зміни кутової швидкості (2.6), утвореної на веденій вилці 10, відповідали таким положенням ведучої вилки 15 машини, при яких її вісь 17 буде розташована горизонтально. Тобто, необхідно, щоб вісь кріплення вилки 10 карданної передачі та вісь кріплення 17 вилки 15 знаходилися в одній площині.

Висновки.

Виконано експериментальне дослідження переміщення технологічного середовища у середині робочої ємності, яка виконує складний просторовий рух «базової» конструкції галтувальної машини. Показано, що обертання веденого валу з нерівномірною кутовою швидкістю створює умови, при яких технологічне середовище переміщається з різною інтенсивністю між протилежними торцями ємності у зустрічних напрямках. Такий режим обробки придатний лише для вузького спектру галтувальних технологічних операцій.

Аналітично отримано раціональну залежність зміни кутової швидкості ведучого валу, реалізація якого забезпечує однакоvu інтенсивність руху технологічного середовища між протилежними торцями ємності у зустрічних напрямках та утворення одного режиму руху впродовж усього процесу обробки деталей.

Розроблено конструкцію приводу із використанням карданної передачі, що дозволяє реалізувати отриману залежність зміни кутової швидкості на ведучому валу машини.

РЕЗЮМЕ. Експериментально досліджено переміщення технологічного середовища всередині робочої ємності, яка виконує складний просторовий рух в галтувальній машині типу «Turbula». Встановлено, що різний характер обертання ведучого та веденого валів галтувальної машини буде призводити до створення умов, які значно «звужують» сферу використання даного обладнання. Аналітично отримано залежність зміни кутової швидкості ведучого валу галтувальної машини, реалізація якої забезпечує однакоvu інтенсивність руху технологічного середовища між протилежними торцями ємності у зустрічних напрямках та утворення одного режиму руху впродовж усього процесу обробки деталей. Розроблено конструкцію приводу, який дозволяє реалізувати отриману залежність зміни кутової швидкості на ведучому валу машини.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: галтувальна машина, просторовий механізм, режим руху, залежність зміни кутової швидкості, привод.

1. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 255 с.
2. Бурмістенков О.П., Панасюк І.В. Основи теорії та практична реалізація пристроїв для зачищувальної обробки формових деталей із полімерних матеріалів. – Київ: НМК ВО, 1993. – 64 с.
3. Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. Експериментальне визначення енергії необхідної для відділення металевих деталей від ливників // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2019. – **138**, № 5. – С. 17 – 26.
4. Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей. – Київ: Університет «Україна», 2018. – 228 с.
5. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. – Москва: Химия, 1988. – 176 с.
6. Панасюк І.В., Залюбовський М.Г. Визначення кінематичних параметрів змішувачів з тривимірним обертанням барабану // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Технічні науки – 2013. – № 6. – С. 28 – 33.
7. Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа. – Москва: Машиностроение, 2009. – 220 с.
8. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов. – Изд. 2-е, переработ. и доп. – Москва: Машиностроение, 1972. – 256 с.
9. Романченко А.В., Дзей С.Е. Вибрационная обработка длинномерных деталей // Вібрації в техніці та технологіях – 2010. – **58**, № 2. – С. 185 – 204.
10. Симонюк В.П. Вібраційна обробка деталей та її технологічні особливості // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2011. – № 31. – С. 344 – 349.
11. Шварц А.И. Механизация и автоматизация производства формовых РТИ: Учебное пособие для рабочего образования. – Москва: Химия, 1987. – 176 с.
12. Antonyuk E.Ya., Zabuza A.T. Motion of an Articulated Vehicle with Two-Dimensional Sections Subject to Lateral Obstacles // Int. Appl. Mech. – 2016. – **52**, N 4. – P. 404 – 412.
13. 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 // Int. Appl. Mech. – 2020. – **56**, N 1. – P. 54 – 64.
14. Zalyubovskii M.G., Panasyuk I.V. Studying the Main Design Parameters of Linkage Mechanisms of Part-Processing Machines with Two Working Barrels // Int. Appl. Mech. – 2020. – **56**, N 6. – P. 762 – 772.
15. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity // Доп. Київського нац. ун-ту техн. та дизайну. – 2019. – **1**. **2**. – P. 24 – 32.
16. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation. – Birmingham: The University of Birmingham, 2012. – 316 p.
17. Mayer-Laigle C., Gatamel C., Berthiaux H. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer // Chemical Engng. Research and Design. – 2015. – **95**. – P. 248 – 261.
18. Panasyuk I., Zalyubovskiy M. 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 – 2015. – N 3. – P. 260 – 264.
19. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2021.

Надійшла 21.01.2021

Затверджена до друку 31.05.2022