

ВІБРАЦІЙНІ ПЕРЕСУВНІ ПРИСТРОЇ У РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Петро Коруняк¹, к. т. н., Ірина Ніщенко², к. ф.-м. н., Роман Шеремета¹, к. т. н.

¹Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,
e-mail: petrokoruniak@gmail.com, e-mail: romansheremeta@ukr.net,

²Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ, проспект Перемоги, 37,
e-mail: irynan@gmail.com

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.022>

Коруняк П., Ніщенко І., Шеремета Р. Вібраційні пересувні пристрої у робототехнічних системах

Підвищення ефективності виробництва, збільшення випуску продукції і поліпшення її якості за одночасного зниження трудових витрат, удосконалення форм організації та управління виробництвом є основою розвитку машинобудування. Це забезпечується вдосконаленням існуючих і впровадженням нових видів устаткування, технологічних процесів і засобів їх механізації та автоматизації, створенням нових технологічних комплексів, де всі ці питання взаємопов'язані і комплексно вирішуються.

Транспортувальні засоби забезпечують безперервність, ритм роботи всіх структурних одиниць потокового виробництва – від складських операцій, подачі технологічного об'єкта, робочого процесу оброблення до виходу готової продукції. Перспективним у цьому питанні є використання машин з дистанційним та автоматичним керуванням, зокрема промислових роботів у гнучких автоматизованих комплексах та автоматизації складальних процесів різних виробництв.

Оснащення маніпулятора додатковими координатними ступенями рухомості (від однієї до трьох) збільшує його робочу зону, підвищує універсальність, розширює технологічні можливості. Розвиток промислових роботів та зростання їх функціональних можливостей створює нові і вдосконалені відомі механічні й керувальні системи, розширює ряд їх різновидів. Проте така досконалість автоматизованого обладнання породжує нові технічні завдання щодо спрощення конструктивних елементів роботів та систем, які обслуговують їхню роботу на виробництві.

Під час виконання деяких технологічних операцій, наприклад у радіоелектроніці, виникає потреба в пристроях, за допомогою яких можна швидко здійснювати точні невеликі маніпуляційні переміщення виробів малої маси. Проте в таких умовах до них ставляться підвищені вимоги щодо швидкодії й точності. У цьому разі раціональним було б використання мікроманіпуляторів, встановлених на вібраційних пересувних пристроях (самохідних платформах), які мають три ступені рухомості: незалежні прямолінійні переміщення у двох взаємно перпендикулярних напрямках та обертання навколо осі. Такі самохідні системи уможливають рух за криволінійною траєкторією та здійснення реверсу.

Ключові слова: вібрація, транспортування, коливання, промислові роботи, автоматизація, маніпулятор, вібраційний привід, збурювальне зусилля.

Koruniak P., Nishchenko I., Sheremeta R. Vibration mobile devices in robotic systems

Increase of the production efficiency and production output, improvement of its quality while reducing labor costs, upgrade of the forms of organization and production management are the basic elements of mechanical engineering development. This is ensured by improvement of the existing and introduction of new types of equipment, technological processes and means of their mechanization and automation, creation of new technological complexes where all these issues are interconnected and comprehensively solved.

Vehicles ensure the continuity and rhythm of work of all structural units of flow production, starting from warehouse operations, supply of a technological object, the work process of processing to the output of finished products. The use of machines with remote and automatic control, in particular, industrial robots in flexible automated complexes and automation of assembly processes in various industries is promising in this matter.

Equipping the manipulator with additional coordinate degrees of mobility (from one to three) increases its working area, improves versatility, and expands technological capabilities. The development of industrial robots and the growth of their functional capabilities creates new and improves the known mechanical and control systems, expands the number of their varieties. However, this perfection of automated equipment gives rise to new technical tasks related to the simplification of structural elements of robots and systems that serve their work in production.

During the performance of some technological operations, for example, in radio electronics, there is a need for devices that can be used to quickly carry out precise, small, manipulative movements of low-mass products. However, in such conditions, they are subject to increased requirements for speed and accuracy. In this case, it would be rational to use

micromanipulators installed on mobile vibrating devices (self-propelled platforms), which have three degrees of mobility: independent rectilinear movements in two mutually perpendicular directions and rotation around an axis. Such self-propelled systems make it possible to move along a curvilinear trajectory and reverse

Key words: vibration, transportation, oscillations, industrial works, automation, manipulator, vibration drive, disturbing force.

Постановка проблеми. Транспортувальні засоби потокового виробництва є невід'ємною складовою технологічного обладнання. Вони забезпечують його безперервність, ритм роботи всього комплексу машин – від складських операцій, подачі технологічного об'єкта, робочого процесу оброблення до виходу готової продукції. Перспективним у цьому питанні є використання машин з дистанційним і автоматичним керуванням, зокрема промислових роботів (ПР) у гнучких автоматизованих комплексах (ГАК) та автоматизації складальних процесів різних виробництв [1; 19].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що до складу виконавчого пристрою ПР входять один або кілька маніпуляторів та пристрій пересування, які безпосередньо взаємодіють із зовнішнім середовищем. Маніпулятор, як головна його механічна складова, містить робочий орган, виконаний у вигляді захоплювального пристрою, і необхідні механізми для реалізації покладених на нього рушійних функцій. Своєю чергою, він використовується і як самостійний пристрій, керований оператором.

Оснащення маніпулятора додатковими координатними ступенями рухомості (від однієї до трьох) збільшує його робочу зону, підвищує універсальність, розширює технологічні можливості. Так, встановивши основу маніпулятора на спеціальну каретку чи візок, робот може рухатися напрямними або площиною. Тип приводу (електричний, механічний, гідравлічний, пневматичний тощо) залежатиме від величини необхідних переміщень. Загалом пристрої пересування ПР можуть бути на колісному, кульковому, гусеничному ході, на електромагнітній, рідинній, повітряній подушках, крокуючими, стрибаючими тощо. Ефективність використання кожного з них визначається конкретними виробничими та експлуатаційними умовами [7; 16; 18].

Транспортувальні роботи поділяються на підвісні та підлогові. Підлогові транспортувальні роботи знаходять своє застосування для автоматизації виробничих процесів у різних галузях промисловості. Вони легко пристосовуються до конкретних умов виробництва. Наприклад, завдяки їм здійснюється переміщення заготовок і деталей у ГАК між технологічним обладнанням – металорі-

зальними верстатами різного типу, автоматизованими складами тощо. Із збільшенням відстані транспортування і складності маршруту ПР практично не вимагають додаткових матеріальних витрат.

Такі пересувні роботи, які ще називають робочими, можуть рухатися наперед визначеними трасами, наприклад, уздовж напрямних на підлозі в цеху або в довільних напрямках відповідно до технології виробництва [14; 16]. При цьому слід намагатися, щоб на виробничих площах (ділянках) були відсутні різноманітні перешкоди (огинання кутів, колони, опори, інше технологічне обладнання тощо). Реалізація переміщення криволінійною траєкторією вимагає від робочого підвищеного рівня маневрування ходової системи та наявності керувального механізму, що значно ускладнює його конструкцію. Рух робочого визначається безконтактними засобами керування, вони наділені автономним живленням електроенергії і бортовою ЕОМ, яка, своєю чергою, пов'язана з центральною ЕОМ, що керує роботою всієї ГАК [11; 12; 15].

Таким чином, розвиток ПР та зростання їх функціональних можливостей супроводжується створенням нових і вдосконаленням уже відомих керувальних і механічних систем, розширюється ряд їх різновидів. Необхідно застерегти, що поряд із цим така досконалість машин породжує нові технічні завдання щодо спрощення конструктивних елементів роботів та систем, які обслуговують їхню роботу на виробництві.

У деяких галузях виробництва, зокрема, наприклад, у радіоелектроніці, під час виконання складальних операцій виникає потреба в пристроях, за допомогою яких можна швидко здійснювати точні невеликі маніпуляційні переміщення виробів малої маси. У цьому разі до них ставлять деякі підвищені вимоги щодо швидкодії й точності. За таких умов ефективними в застосуванні можуть стати вібраційні пристрої з багатьма ступенями рухомості, механічна система яких характеризується своєю безінерційністю.

Одним із варіантів було б встановлення мікророботів на вібраційних пересувних пристроях (самохідних платформах), які побудовані на базі лінійних високочастотних двигунів. Вони мають три ступені рухомості: незалежні прямолі-

нійні переміщення у двох взаємно перпендикулярних напрямках та обертання навколо осі. Крім того, такі самохідні системи уможливають рух за криволінійною траєкторією та здійснення реверсу [2; 6; 13].

Аналізуючи функціонування відомої рухомої вібраційної платформи, що складається з восьми вібраційних приводів, на кафедрі машинобудування ЛНУП розроблено ряд схем вібраційних пересувних пристроїв (ВПП) та проводиться їх апробація [3; 5; 9]. Автори сподіваються, що в майбутньому подібні засоби будуть вдосконалюватися і стануть поштовхом для розв'язання навігаційних, технологічних та інформаційних задач.

На рис. 1 зображено варіант виконання ВПП з двома приводами. Принцип роботи і спосіб керування цією конструкцією підпорядкований принципу вібропереміщення, тобто взаємодії сил тертя з несиметричними силами інерції. Згідно з ним, під час роботи віброзбудувачів на платформу реактивно передаються зусилля, завдяки яким і здійснюється її переміщення. Слід зауважити, що ці сили повинні бути асиметричними і мають підбиратися такими, щоб під їх дією в заданому напрямі долалися сили тертя і вони зміщували платформу, а не то сили тертя не долатимуться і платформа залишиться нерухомою. Таким чином, забезпечується переважно накопичуване (сумарне) переміщення механічної системи в певному напрямі або створюється вібраційна сила цілком визначеного напрямку [4; 6; 19].

На нашу думку, позитивним у роботі такого пристрою є те, що, застосовуючи загальновідомі

положення плоскопаралельного руху твердого тіла з курсу теоретичної механіки, можна реалізувати будь-який закон руху [17]. Так, не змінюючи значення збудовальних зусиль приводів, за незмінного їх положення щодо платформи, пристрій пересувається прямолінійно, а зменшення або збільшення амплітуди коливання одного з них призводить до зміни напрямку руху (див. рис. 1, а).

Необхідно зауважити, що мінімальний радіус кривизни траєкторії буде за умови відключення одного з приводів. Радіус кривизни також можна змінювати за рахунок одночасної зміни напрямку збудовальних зусиль та їх величин. Як варіант такого руху є обертання платформи навколо своєї осі (див. рис. 1, б). Для цього необхідно, щоб обидва віброзбудувачі працювали в одному режимі і були розвернуті між собою на 180° відносно платформи [8–10].

З огляду на вказані можливості у пересуванні такого пристрою, значно легше вирішуються зазначені вище технічні завдання, ніж у разі використання традиційних способів переміщення.

Як показали результати експериментальних досліджень, використання за певних умов розробленої конструкції ВПП є ефективним і перспективним напрямом в автоматизації виробничих процесів. Передбачивши в їхній конструкції платформу, пристрій можна застосовувати як мобільний транспортувальний засіб для виробів та об'єктів (рис. 2), тобто як робочар. З іншого боку, на такій платформі можна встановлювати також виконавчі механізми, наприклад, маніпулятори робототехнічних систем.

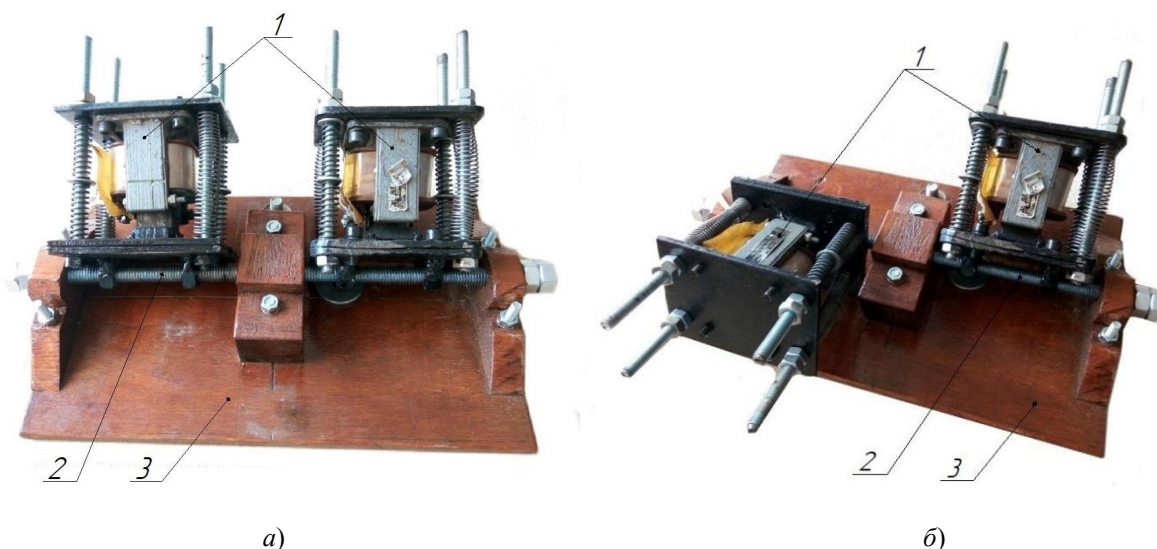


Рис. 1. Вібраційний пересувний пристрій із здовєним приводом: а) для здійснення напрямленого руху; б) для здійснення обертального руху; 1 – електромагнітний вібропривід; 2 – вісь; 3 – платформа
Fig. 1. Vibrating mobile device with a double drive: а) for directional movement; б) for rotational movement; 1 – electromagnetic vibration drive; 2 – axis; 3 – platform

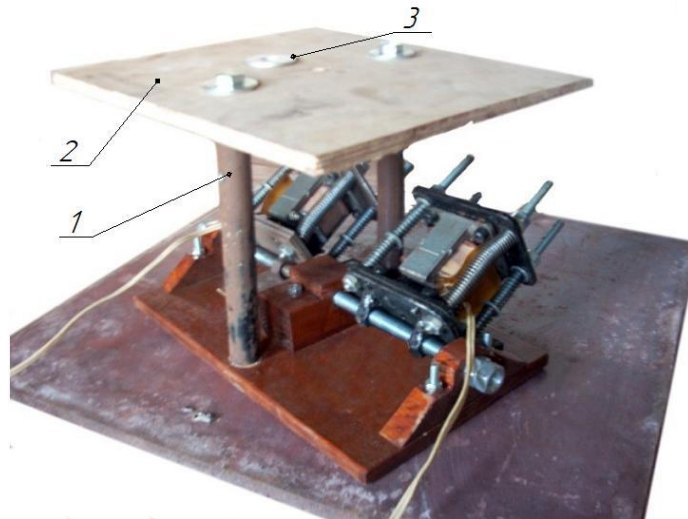


Рис. 2. Вібраційний пересувний пристрій з вантажною платформою:

1 – стійка; 2 – вантажна платформа; 3 – транспортувальний об’єкт

Fig. 2. Vibrating mobile device with a loading platform: 1 – rack; 2 – cargo platform; 3 – transportation object

На сьогодні ведуться роботи щодо підвищення мобільності ВПП. На думку розробників, їх потрібно проводити в трьох напрямках: з використанням традиційних двигунів (крокові та серводвигуни), вібродвигунів та електромагнітного приводу. Прийняття того чи іншого варіанта необхідно здійснювати на підставі конкретної технічної задачі, яку повинен реалізувати пристрій. Таке поєднання технічних рішень робить ВПП конструктивно простішими, ефективнішими в роботі та універсальнішими в застосуванні.

Проте використання різноманітних складових елементів пристрою, які функціонують за іншим принципом дії, може дещо ускладнити сис-

тему програмного керування для формування й подання виконавчим механізмам керівних команд відповідно до заданої програми.

Постановка завдання. Метою дослідження є вдосконалення конструктивної схеми, моделювання та реалізація складного руху ВПП по горизонтальній площині, а також аналіз впливу параметрів режиму роботи на його характер руху.

Виклад основного матеріалу. Для однотипного способу керування мобільністю ВПП, який містить на платформі чотири однакових попарно і симетрично розташованих вібророзбудувачів коливань, розглянемо його роботу під час руху по нерухомій площині (рис. 3).

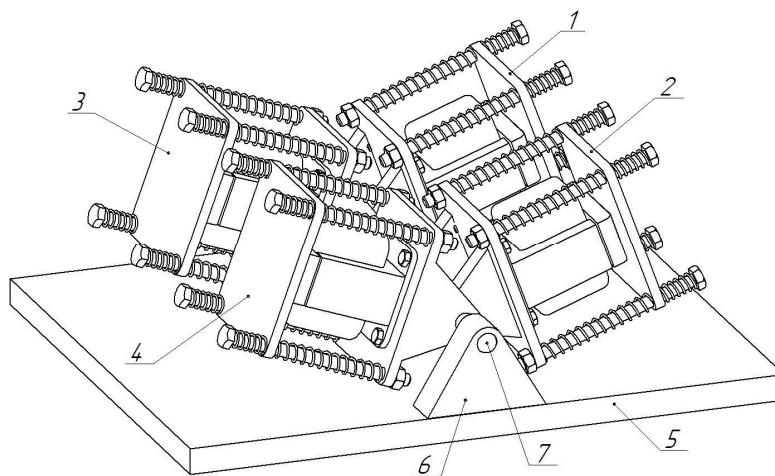


Рис. 3. Вібраційний пересувний пристрій:

1, 2, 3, 4 – електромагнітні збудувачі коливань; 5 – платформа; 6 – опора; 7 – вісь

Fig. 3. Vibrating mobile device:

1, 2, 3, 4 – electromagnetic perturbors of oscillations; 5 – platform; 6 – support; 7 – axis

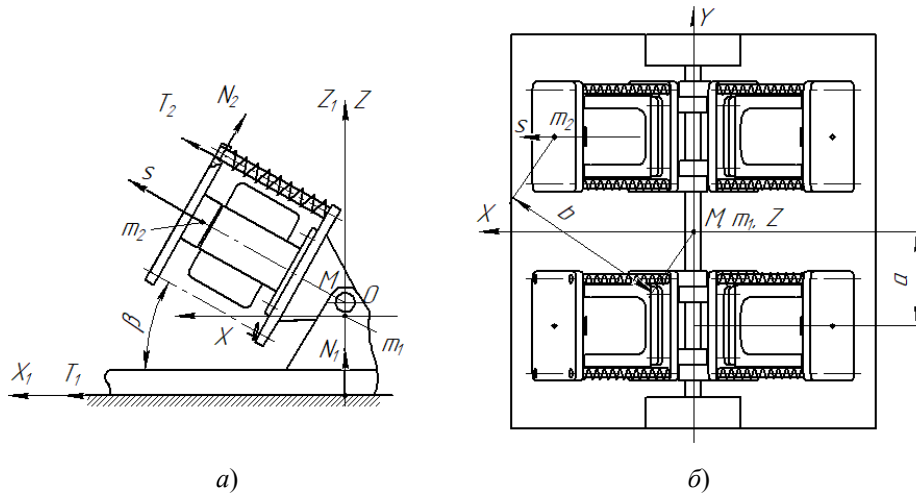


Рис. 4. Принципова схема роботи ВПП:

a – робота пристрою під час поступального руху; *б* – робота пристрою під час обертання

Fig. 4. Schematic diagram of VPP operation:

a – operation of the device during translational movement; *b* – operation of the device during rotation

Конструктивно пристрій виконаний таким чином, що його центр мас у нерухомому стані збігається з центром мас платформи m_1 (див. рис. 4, *a*). Під час роботи на якір віброзбудувача масою m_2 діє сила F , яка змінюється відповідно до закону

$$F = \begin{cases} F_0 \sin(\omega t) \dots \sin(\omega t) > 0 \\ 0 \dots \dots \dots \sin(\omega t) < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Якір пов'язаний із статором за допомогою пружин жорсткістю c і рухається вздовж напрямних, які розташовані під кутом β до платформи.

Виберемо початок O системи координат у початковому положенні центра мас. Вісь Ox спрямуємо по площині в напрямі руху пристрою, а вісь Oz – вертикально вгору. Тоді, якщо працюватимуть два збудувачі коливачів, які переміщують його в додатному напрямі осі Ox , положення центра мас пристрою можна обчислювати за формулами:

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{Mx_1 + 2m_2s \cos \beta}{M}; \\ z_c &= \frac{Mz_1 + 2m_2s \sin \beta}{M}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $M = m_1 + 4m_2$ – загальна маса пристрою; x_1 – переміщення центра мас платформи; s – переміщення якоря відносно платформи вздовж напрямної; β – кут нахилу напрямних до платформи.

Складемо диференціальні рівняння руху центра мас пристрою під дією зовнішніх сил:

$$M \frac{d^2 x_c}{dt^2} = T_1; \quad M \frac{d^2 z_c}{dt^2} = N_1 - Mg, \quad (3)$$

де T_1 – сила тертя; N_1 – нормальна реакція; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Підставимо в (3) вирази (2), враховуючи при цьому, що рух безвідричний ($z_1 = \text{const}$):

$$\begin{aligned} M \frac{d^2 x_1}{dt^2} + 2m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} \cos \beta &= T_1; \\ 2m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} \sin \beta &= N_1 - Mg. \end{aligned} \quad (4)$$

Друге рівняння системи (4) розв'яжемо відносно реакції

$$N_1 = 2m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} \sin \beta + Mg$$

і врахуємо, що під час руху сила тертя досягає максимального значення

$$\begin{aligned} T_1 &= -fN_1 \text{sign}(\dot{x}_1) = - \\ &= -f(2m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} \sin \beta + Mg) \text{sign}(\dot{x}_1), \end{aligned} \quad (5)$$

де f – коефіцієнт тертя.

Підставляємо вираз T_1 :

$$\begin{aligned} M \frac{d^2 x_1}{dt^2} + 2m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} (\cos \beta + f \sin \beta \text{sign}(\dot{x}_1)) &= \\ = -fMg \text{sign}(\dot{x}_1). \end{aligned} \quad (6)$$

Запишемо диференціальні рівняння руху якоря в проекціях на напрямну та перпендикулярну до неї вісь:

$$\begin{aligned} m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} &= F - cs - m_2 \frac{d^2 x_1}{dt^2} \cos \beta + T_2 - m_2 g \sin \beta; \\ m_2 \frac{d^2 x_1}{dt^2} \sin \beta + N_2 - m_2 g \cos \beta &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

де T_2 – сила тертя якоря по напрямній; N_2 – нормальна реакція.

З другого рівняння

$$N_2 = m_2 g \cos \beta - m_2 \frac{d^2 x}{dt^2} \sin \beta .$$

Тоді сила тертя

$$T_2 = -f |N_2| \operatorname{sgn}(\dot{s}) = -f \left| m_2 g \cos \beta - m_2 \frac{d^2 x_1}{dt^2} \sin \beta \right| \operatorname{sign}(\dot{s})$$

і перше рівняння (7) після підстановки виразу T_2 матиме такий вигляд:

$$m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} + m_2 \frac{d^2 x_1}{dt^2} (\cos \beta - f \sin \beta \operatorname{sign}(\dot{s})) = F - cs - m_2 g (\sin \beta + f \cos \beta \operatorname{sign}(\dot{s})) . \quad (8)$$

Система диференціальних рівнянь (6) і (8) розв'язувалась числовим методом Рунге-Кутта четвертого порядку точності за таких, наприклад, значень вихідних даних:

$$f = 0,2; \quad m_1 = 4 \text{ кг}; \quad m_2 = 0,5 \text{ кг}; \quad M = m_1 + 4m_2; \\ \omega = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ рад/с}; \quad c = 1,2 \cdot m_2 \cdot \omega^2 \text{ Н/м}; \quad F_0 = 60 \text{ Н}; \\ g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

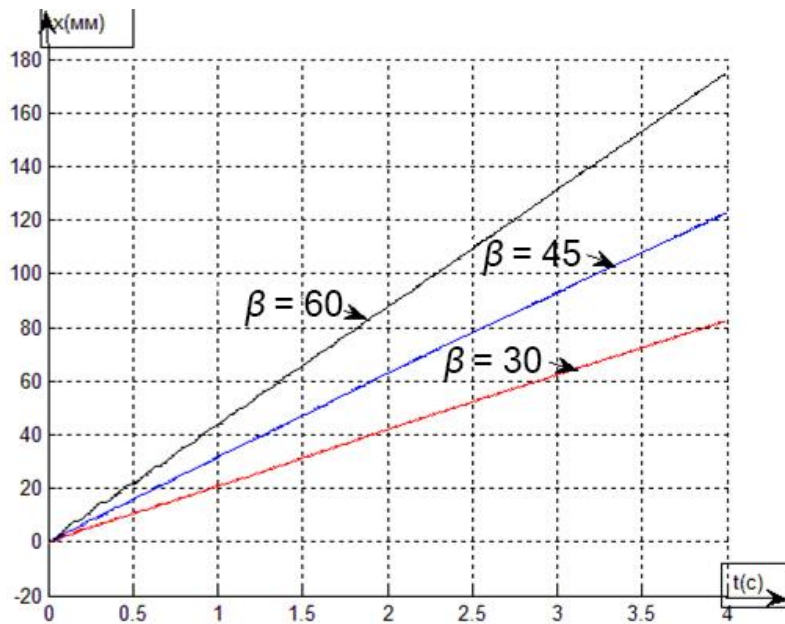


Рис. 5. Переміщення корпусу залежно від кута нахилу напрямних
Fig. 5. Body movement depending on the angle of inclination of the guides

Із зростанням кута нахилу напрямних β швидкість переміщення зростає.

За умови функціонування двох збурювачів коливань, що розміщені по діагоналі, яка проходить через центр мас, пристрій здійснюватиме обертальний рух навколо вертикальної осі, що проходить через центр мас (див. рис. 4, б). На підставі теореми про зміну кінетичного моменту механічної системи запишемо диференціальне рівняння обертального руху механізму:

$$\frac{d(I_c \dot{\varphi})}{dt} = T_3 a, \quad (9)$$

де a – відстань від точок опор платформи до осі обертання;

$I_c = I_k + 2m_2 b^2 + 2m_2 (b^2 + (s \cos \beta)^2 + bs \cos \beta \sqrt{2})$,
де I_k – момент інерції платформи; b – відстань від центра маси m_2 до осі обертання.

Силу тертя T_3 обчислюємо за формулою, аналогічною до (5):

$$T_3 = -f (2m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} \sin \beta + Mg) \operatorname{sign}(\dot{\varphi}) .$$

Ураховуючи вирази для I_c і T_3 , рівняння (9) матиме такий вигляд:

$$I_c \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + 2 f a m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} \sin \beta \operatorname{sign}(\dot{\varphi}) = -f M g \operatorname{sign}(\dot{\varphi}) a - \dot{\varphi} \dot{s} (2m_2 (2s \cos^2 \beta + b \cos \beta \sqrt{2})) . \quad (10)$$

Складемо також рівняння відносного руху якоря по напрямній у проекціях на напрямну та дві інші взаємно перпендикулярні осі, одна з яких горизонтальна:

$$m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} = F - cs +$$

$$+ m_2 \dot{\varphi}^2 \sqrt{b^2 + (s \cos \beta)^2} + 2b \sqrt{2} s \cos \beta \cos \beta + T_4 - m_2 g \sin \beta ;$$

$$\begin{aligned}
 & m_2 \dot{\varphi}^2 \sqrt{b^2 + (s \cos \beta)^2 + 2b\sqrt{2} s \cos \beta \sin \beta} + \\
 & \quad + N_4 - m_2 g \cos \beta = 0 ; \\
 & N_5 - m_2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} \sqrt{b^2 + (s \cos \beta)^2 + 2\sqrt{2} b s \cos \beta} - \\
 & \quad - 2m_2 \dot{\varphi} s \cos \beta = 0 .
 \end{aligned} \quad (11)$$

З двох останніх рівнянь знаходимо складові N_4 і N_5 нормальної реакції. Тоді повна нормальна реакція

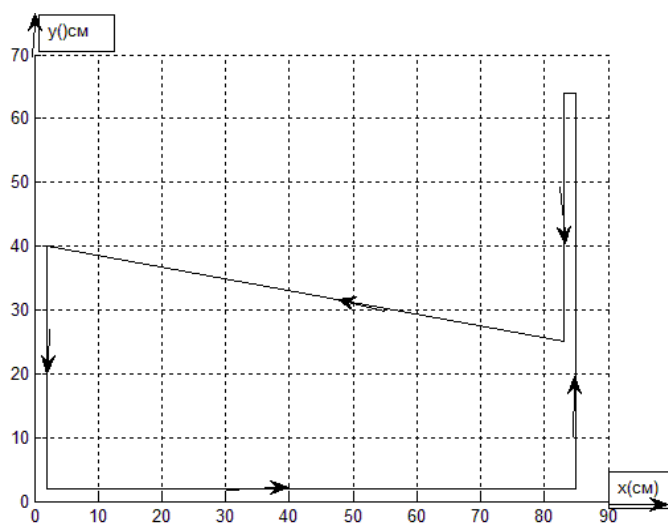
$$\begin{aligned}
 N &= \sqrt{(N_4)^2 + (N_5)^2}, \text{ а} \\
 T_4 &= -f \sqrt{(N_4)^2 + (N_5)^2} \text{sign}(\dot{s}) .
 \end{aligned}$$

Отже, перше диференціальне рівняння в (11) матиме такий вигляд:

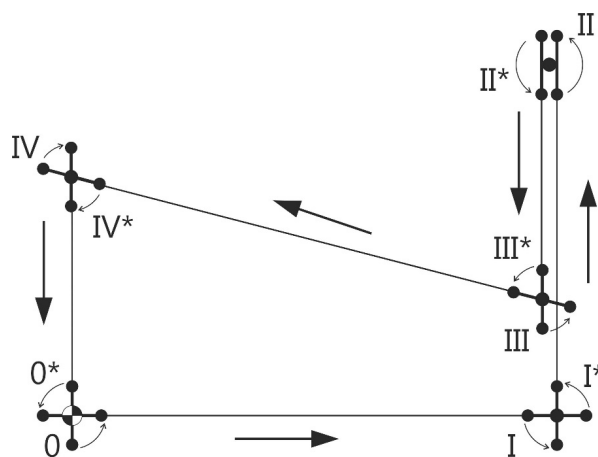
$$\begin{aligned}
 m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} &= F - cs + \\
 &+ m_2 \dot{\varphi}^2 \sqrt{b^2 + (s \cos \beta)^2 + 2b\sqrt{2} s \cos \beta \sin \beta} - \\
 &- f \sqrt{(N_4)^2 + (N_5)^2} \text{sign}(\dot{s}) - m_2 g \sin \beta
 \end{aligned} \quad (12)$$

Потім потрібно розв'язувати систему диференціальних рівнянь (10) і (12) числовим методом.

На підставі наведених аналітичних залежностей можна розробити програмне забезпечення функціонування ВПП, тобто розробити його траєкторію і маршрут руху. За параметрами рис. 5 на рис. 6 наведено приклад такого маршруту та його траєкторію і послідовність спрацьовування збудувачів коливань вібраційного приводу запропонованої конструкції ВВП.



а)



б)

Рис. 6. Приклад траєкторії і маршруту ВПП на виробничій ділянці під час реалізації технічного завдання:
а – траєкторія; б – маршрут

Fig. 6. Example of the trajectory and route of the VMD on the production site during implementation of the technical task: а – trajectory; б – route

Так, на відрізку 0-I маршруту під час прямолінійного руху працюють віброзбурювачі коливань (електромагніти) 1-2. У точці I вступають у дію збурювачі 2-3 до моменту (точка I*), коли пристрій повернеться на 90°. Далі продовжують роботу електромагніти 1-2 і пристрій у тому ж режимі прибуває в точку II даного маршруту. Для подолання відрізка II-III маршруту необхідно в цій точці II ввести в дію збурювачі 2-3 або 1-4 для повороту пристрою на 180° (точка II*) або ж включення пари електромагнітів 3-4 для здійснення реверсу до точки III. Подальше керування пристроєм на відрізках III-IV та IV-0 аналогічне попередньому, тобто включенням відповідної пари віброзбурювачів. Під час зміни напрямку руху бажано приводити в дію ті електромагніти, які б забезпечили найменший кут повороту пристрою.

У результаті такого переміщення ВПП на кожній ділянці можна реалізовувати як в одному режимі (тобто швидкості) руху, так і в різних. Крім того, відмінний (різний) режим одночасного функціонування електромагнітів дає змогу реалізувати рух пристрою за складною криволінійною траєкторією.

Слід нагадати, що в даному випадку пристрій працює в безвідривному режимі з прямолінійними гармонічними коливаннями і відповідає незначним швидкостям транспортування. Для підвищення ефективності роботи ВПП ведуться дослідження щодо використання в них віброприводу з незалежними коливаннями.

Висновки. Отже, на перший погляд, розглянутий рух технічних об'єктів певною мірою можна вважати інноваційним, і він є цікавим у принциповому сенсі як альтернатива до традиційного. На підставі розробленої теорії вібраційного переміщення подальше дослідження цього ефекту та розробка різноманітних конструкцій пристроїв дають впевненість, що і ВПП з електромагнітним віброприводом знайдуть своє місце в техніці.

Бібліографічний список

1. Автоматическая загрузка технологических машин: справочник / И. С. Бляхеров и др.; под общ. ред. И. А. Клусова. Москва: Машиностроение, 1990. 400 с.
2. Блехман И. И. Вибрационная механика. Москва: Физматлит, 1994. 400 с.

3. Вертикальный вибрационный пересувний пристрій: пат. на корисну модель 132128 Україна, МПК В25J 5/00; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 3.
4. Вибрации в технике: справочник: в 6 т. / ред. совет: В. Н. Чоломей (председ.) и др. Т. 4: Вибрационные процессы и машины / под ред. Э. Э. Лавендела. Москва: Машиностроение, 1981. 509 с.
5. Вибраційний пристрій пересування: пат. на корисну модель 121455 Україна, МПК В65J 5/100; опубл. 11.12.2017, Бюл. № 23.
6. Гончаревич И. Ф. Вибрация – нестандартный путь: вибрация в природе и технике. Москва: Наука, 1986. 209 с.
7. Козырев Ю. Г. Промышленные роботы: справочник. Москва: Машиностроение, 1988. 392 с.
8. Коруняк П. С., Керницький І. С., Ніщенко І. І. Автоматизоване вібраційне маніпулювання виробами та віброманіпулятори / за ред. В. В. Снітинського. Львів: СПОЛОМ, 2021. 256 с.
9. Коруняк П. С., Ніщенко І. І., Керницький І. С. Транспортувальні машини. Основи конструювання та розрахунку вібраційних транспортувальних машин. Львів: СПОЛОМ, 2017. 244 с.
10. Малащенко В. О., Коруняк П. С., Ніщенко І. І. Вібраційне пересування по шорсткій поверхні. *Підйомно-транспортна техніка*. 2017. № 3. С. 33-40.
11. Основи творення машин / М. Я. Бучинський, О. В. Горик, А. М. Чернявський, С. В. Яхін; за ред. проф. О. В. Горика. Харків: НТМТ, 2017. 448 с.
12. Основы робототехники / Н. В. Василенко, К. Д. Никитин, В. П. Пономарев, А. Ю. Смолин; под ред. К. Д. Никитина. Москва: Радио и связь, 1993. 475 с.
13. Повидайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання. Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 248 с.
14. Промышленная робототехника / Л. С. Ямпольский и др.; под ред. Л. С. Ямпольского. Киев: Техніка, 1984. 258 с.
15. Промышленные роботы: конструирование, управление, эксплуатация / В. И. Костюк, А. П. Гавриш, Л. С. Ямпольский, А. Г. Карлов. Киев: Вища шк., 1985. 359 с.
16. Спиноу Г. А. Промышленные роботы: конструирование и применение. Киев: Вища шк., 1991. 311 с.
17. Старжинский В. М. Теоретическая механика. Москва: Наука, 1980. 464 с.
18. Стоцько З. А. Моделювання технологічних систем: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і допов. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2013. 188 с.
19. Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. Москва: Машиностроение, 1973. 640 с.

Стаття надійшла 28.09.2022