

УДК 621

Малащенко В.О., д.т.н.; Коруняк П.С., к.т.н.; Ніщенко І.І., к.ф.-м.н.
Національний університет «Львівська політехніка»**ВІБРАЦІЙНЕ ПЕРЕСУВАННЯ ПО ШОРСТКІЙ ПОВЕРХНІ**

Анотація. У статті розглянуто можливості та закономірності екологічно чистого вібраційного пересування механічних систем по шорсткій поверхні. Розроблено принципову розрахункову схему та математичну модель, що уможливили отримати універсальний аналітичний вираз для проведення аналізу основних кінематичних чинників процесу вібраційного пересування.

Ключеві слова: вібраційне пересування, вібрація, коливний рух.

Аннотация. В статье рассмотрены возможности и закономерности экологически чистого вибрационного передвижения механических систем по шершавой поверхности. Разработана принципиальная расчетную схему и математическую модель, сделали получить универсальный аналитический выражение для проведения анализа основных кинематических факторов процесса вибрационного передвижения.

Ключевые слова: вибрационное передвижения, вибрация, колеблющийся движение.

Annotation. The possibilities and regularities of ecologically pure vibrational movement of mechanical systems along a rough surface are considered in the article. A basic design scheme and a mathematical model have been developed, and a universal analytical expression has been made to analyze the main kinematic factors of the process of vibrational movement.

Keywords: vibrational movement, vibration, oscillating motion.

Постановка проблеми. В деяких галузях виробництва, зокрема, наприклад, радіоелектроніці, під час виконання складальних операцій виникає потреба у пристроях, за допомогою яких необхідно швидко здійснювати точні невеликі переміщення. В цих умовах цікавим варіантом серед іншого обладнання набуває застосування вібраційних механізмів з кількома ступенями вільності. Справа в тому, що незважаючи на універсальність, технічну спроможність промислових роботів побудованих на традиційній основі здійснювати різноманітні операції, будь яке збільшення його ступеня вільності веде до ускладнення конструкції, а отже і зниження точності рухів. В цьому

випадку раціональним було б використання вібраційних пересувних пристроїв, які мають три ступеня вільності і можуть рухатись не лише прямолінійно у довільному напрямку

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вібраційне пересування є одним із проявів ефекту вібраційного переміщення, тобто одержання направлених рухів за рахунок сили направленої взаємодії. Енергія, яка необхідна для пересування може надходити як з внутрішнього джерела пристрою так і з зовні.

До таких пристроїв пересування відноситься самохідний вібраційний ущільнювач ґрунту [1 - 6]. На рис.1, *a* показана схема, за якою у корпусі пристрою знаходиться віброзбудник з періодично рухомими масами, що створює гармонійно збудовальну силу $F_0 \sin \omega t$ направлену під деяким кутом β до поверхні. Механізм утворення гармонійної вібраційної сили відповідає дебалансним віброзбудникам направленої дії, згідно якого коли відцентрова сила знаходиться під кутом відмінним від 0 або 90⁰ градусів виникає ефект пересування об'єкту, яке може відбуватися праворуч чи ліворуч.

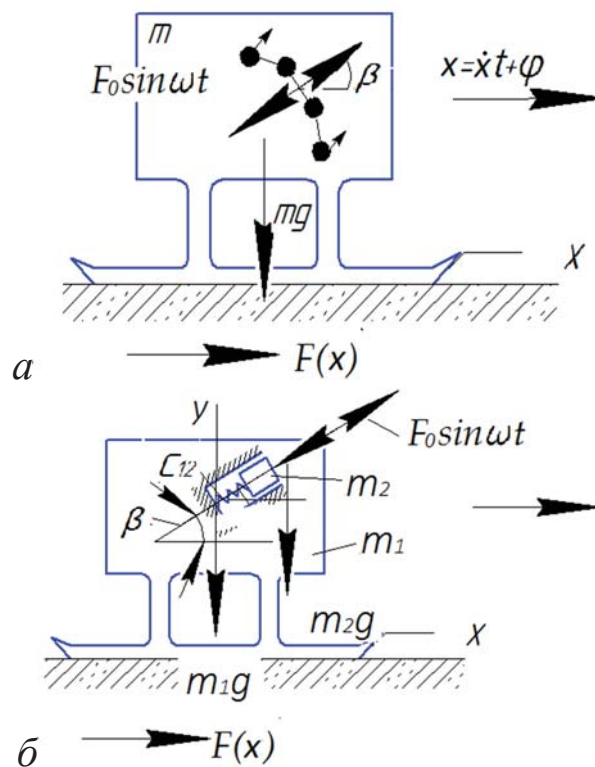


Рис. 1. Принципові схеми вібраційних пристроїв пересування: *a*) самохідного ущільнювача ґрунту; *б*) з внутрішнім ступенем вільності

Використовуючи диференціальні рівняння руху [3], можна скласти систему рівнянь, що описують рівновагу тіла для лінійного руху

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= mA\omega^2 \sin(\omega t + \varepsilon) - F(\dot{x}); \\ m\ddot{y} &= mB\omega^2 \sin \omega t - mg \cos \beta + N, \end{aligned} \quad (1)$$

де $F(\dot{x})$ – сила сухого тертя; N - нормальна реакція поверхні доторкання;

ε – зсув фаз.

Приймаючи: $\beta = 0$; $\varepsilon = 0$; $A = F_o \cos \beta / (m\omega^2)$;

$B = F_o \sin \beta / (m\omega^2)$, тоді

переміщення даного об'єкту можна розглядати як рух масової частинки по віброуючій поверхні.

Деяко складніший процес виникнення вібраційної сили у механізмі, що показаний на рис. 1,б. У даному випадку в середині конструкції пристрою (див. тіло масою - m_1) знаходиться додаткове тіло, що має масу m_2 , яке в наслідок «внутрішнього ступеня вільності» здійснює коливання відносно m_1 і взаємодіє з ним через пружні елементи та може коливається відносно направляючих. Така взаємодія складових механічної системи з опорною поверхнею та співвідношення її основних параметрів приводить до пересування пристрою (тіло m_1) відносно цієї поверхні.

Жорсткість пружних елементів, що з'єднують маси m_1 і m_2 , вибираються з умови налаштування всієї механічної системи на резонансний режим роботи, що дає можливість легко впливати на вібраційну силу та переміщення об'єкту у різних напрямках. Кут нахилу направляючих повинен бути відмінним від нуля і 90° . Такі задачі можна розв'язувати, використовуючи схему самохідної платформи представленої в роботах [6,7].

Мета роботи. На підставі аналізу відомих схем вібраційних пересувних пристроїв запропонувати конструкцію вібраційного пересувного пристрою (ВПП) з внутрішнім ступенем вільності та визначити аналітичний вираз, що описує умову виникнення вібраційного пересування пристрою по шорсткій поверхні.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо роботу дослідного взірця такого пристрою, що представлено на рис. 2 і рис. 3. Він містить платформу 1, просторовий шарнір 2, електромагнітний вібраційний привод, який складається з статора 3 і якоря 4, циліндричних пружин 5 та їхніх направляючих 6.

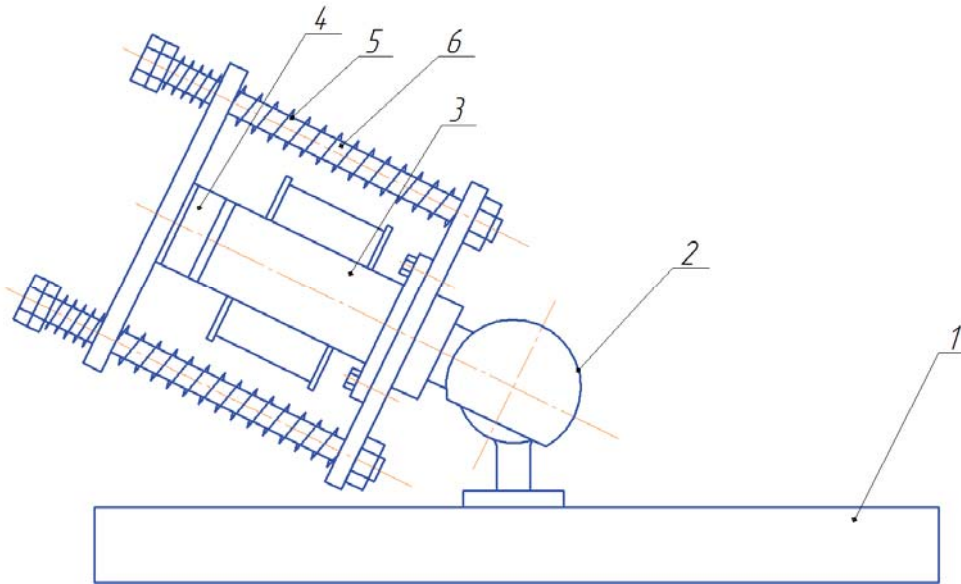


Рис. 2. Конструктивна схема нового вібраційного пересувного пристрою з внутрішнім ступенем вільності: 1 – платформа; 2 - просторовий шарнір; 3, 4 – статор і якорь електромагнітного віброприводу, 5 - циліндричні пружини; 6 – направляючі пружин



Рис. 3. Загальний вигляд дослідного зірця

Принцип роботи пристрою відбувається так. Завдяки електричного струму, що підводиться до котушки статора електромагнітного вібраційного приводу, створюються прямолінійні коливання якоря, які спрямовані під кутом до поверхні платформи. Вібраційна сила в даному випадку формується одночасно за кінематичною і структурною схемою [3,4], під дією якої здійснюється рух пристрою у визначеному напрямку. Ефективне переміщення пристрою можна реалізувати налаштуванням пружної системи у вигляді циліндричних пружин на резонансний режим роботи. За такого налаштування достатньо мінімальних зусиль віброзбудників, щоб забезпечити ефект вібраційного переміщення пристрою.

Зміна швидкості пересування відбувається із зміною кута нахилу віброприводу до платформи або електричної напруги на котушці статора. Зміна напрямку пересування пристрою і реверс здійснюється завдяки рухомості сферичного шарніра (привод непоказаний). Замість сферичного шарніра можна використати циліндричний шарнір з горизонтальною віссю обертання.

У роботі розглянуто динаміку пересування пристрою з внутрішнім ступенем вільності по шорсткій поверхні (рис.1,б). Механічна система механізму складається з тіла масою m_1 , яке може переміщатися у горизонтальній площині, і тіла масою m_2 , що кріпиться до тіла 1 за допомогою пружини жорсткістю C_{12} . Тіло 2 може переміщатися відносно тіла 1 вздовж напрямних, що похилені до горизонту під кутом β .

Виберемо початок нерухомої декартової системи координат у початковому положенні центра мас тіла 1. Запишемо диференціальні рівняння руху центру мас механічної системи, враховуючи при цьому тільки зовнішні сили:

$$\begin{aligned} M \frac{d^2 x}{dt^2} + m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} \cos \beta &= T_1; \\ m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} \sin \beta &= N - Mg. \end{aligned} \tag{2}$$

де $M = m_1 + m_2$ – загальна маса механічної системи; N – нормальна реакція; T_1 – сила тертя; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; s – координата маси m_2 .

На систему вздовж напрямних діють також внутрішні сили: сила пружності деформованої пружини і електромагнітна сила $F(t)$, яка змінюється згідно закону

$$F(t) = \begin{cases} F_o \sin(\omega t) & kT \leq t < kT + \frac{1}{2}T \\ 0 & kT + \frac{1}{2}T \leq t \leq (k+1)T \end{cases}, \tag{3}$$

де t – змінний час; $T = 2\pi/10$ – період збурювальної сили; F_o – амплітуда сили.

Розв'язуючи систему рівнянь (2) і опускаючи проміжні перетворення, одержано аналітичний вираз для опису чинників, що характеризують вібраційне пересування по шорсткій поверхні у вигляді

$$M \frac{d^2 s}{dt^2} + m_2 \frac{d^2 s}{dt^2} (\cos \beta + f \sin \beta) = -fMg. \quad (4)$$

Розв'язок даного диференціального рівняння чисельним методом у середовищі MATLAB дає можливість проаналізувати характер руху вібраційного пересувного пристрою, знаючи у кожному конкретному випадку геометричні та жорсткості параметри запроєктованого пристрою. Цим і підтверджується важливість та універсальність запропонованого аналітичного виразу (4).

Доцільно наголосити, що між самопересуванням вібраційних пристроїв з похилим напрямком збурювального зусилля і переміщенням окремої матеріальної частинки відносно площини вантажонесучого робочого органу під час вібраційного транспортування у відривному режимі існує подібність з результатами, що отримані в роботі [5], що ще раз підтверджує цінність запропонованої моделі, яка є підґрунтям для подальших досліджень.

Висновки: 1. Отже, на перший погляд, розглянутий рух об'єктів у деякій мірі можна вважати екзотичним, проте він цікавий у принципіальному відношенні як альтернатива до традиційного. На підставі розробленої моделі вібраційного переміщення, подальше дослідження цього ефекту та розробка різноманітних конструкцій пристроїв дають впевненість, що і вібраційні пересувні пристрої з електромагнітним віброприводом займуть свою "нішу" у техніці.

2. Явище подібного пересування можна спостерігати також під час руху на скейтборзі, де вібраційним пересувним засобом є людина разом з пристроєм. В даному випадку, періодичними рухами ніг людини генерується зі сторони дороги рушійна сила у напрямку переміщення, що приводить до виникнення відповідної вібраційної сили, яка сприяє переміщенню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бауман В.А. Вибрационные машины и процессы в строительстве / В.А. Бауман, И.И. Быховский. - М.: Высшая школа, 1977. - 256 с.
2. Блехман И.И. Что может вибрация? / И.И. Блехман. - М.: Наука, 1988. – 208 с.
3. Блехман И.И. Вибрационная механика / И.И. Блехман. - М.: Физматлит, 1994. – 400 с.

-
4. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю Джанелидзе. - М.: Наука, 1964. – 410 с.
 5. Вибрации в технике: Справочник: в 6 т. / ред. совет: В. Н. Чоломей (председ.). - М.: Машиностроение, т. 4. Вибрационные процессы и машины / под ред. Э. Э. Лавендела.- 1981.- 509 с.
 6. Гончаревич И.Ф. Вибрация – нестандартный путь: вибрация в природе и технике / И.Ф. Гончаревич. - М.: Наука, 1986. – 209 с.
 7. Малащенко В.О. Динаміка вертикального підймання штучних вантажів / В.О. Малащенко, П.С. Коруняк, І.І. Ніщенко. // Вісник національного університету «Львівська політехніка» серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. № 838, 2016. – С. 64-68.