

УДК 631.312

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ РУХУ ЧАСТИНКИ ПО ЗОВНІШНІЙ ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРА ПРИ ЙОГО ПОСТУПАЛЬНИХ КОЛИВАННЯХ В ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПЛОЩИНАХ

Воліна Т. М., к.т.н.*,

t.n.zaharova@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8610-2208

Пилипака С. Ф., д.т.н.,

psf55@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1496-4615*Національний університет біоресурсів і природокористування України
(м. Київ, Україна)*

У статті викладено результати дослідження руху матеріальної частинки по зовнішній поверхні циліндра, який здійснює коливальний рух. Усі точки циліндра описують кола в горизонтальних площинах. При коливальному русі горизонтального циліндра матеріальна частинка теж здійснює коливальний рух, пересуваючись по його зовнішній поверхні в поперечному напрямі по відношенню до прямолінійних твірних циліндра. При цьому відносний рух матеріальної частинки дуже чутливий до частоти коливань: при зростанні частоти коливань довжина пройденого шляху суттєво зростає. Встановлено, що матеріальні частинки із різним коефіцієнтом тертя рухаються по різних траєкторіях, причому відстань між ними збільшується по мірі ковзання по поверхні. Побудовано траєкторії відносного руху частинки по поверхні циліндра. Наведено графіки інших кінематичних характеристик у функції часу. Розглянуто часткові випадки, коли вісь циліндра розташована горизонтально або під кутом тертя до горизонтальної площини. При нахилі циліндра навіть на незначний кут траєкторія переміщення матеріальних частинок суттєво змінюється, відхиляючись від поперечного напрямку в сторону нахилу циліндра. Крім того, розглянуто випадок руху матеріальної частинки по стаціонарному циліндру, нахиленому під кутом до горизонтальної площини. Коли кут нахилу дорівнює куту тертя, то рух матеріальної частинки залежить від початкових умов. Якщо їй надати початкову швидкість руху вздовж найвищої прямолінійної твірної циліндра, то вона із цією швидкістю і далі продовжуватиме рух по ній. Якщо початкову швидкість надати в іншому напрямі, то траєкторія руху буде криволінійною і рух прискореним. Результати дослідження закономірностей руху матеріальних частинок по зовнішній поверхні циліндра, який здійснює колові поступальні коливання в горизонтальних площинах, при різних кутах його нахилу можуть бути використані для сепарації технологічного матеріалу за його фрикційними властивостями.

* Науковий консультант – д.т.н., проф. Пилипака С.Ф.

Ключові слова: відносний рух, похилий циліндр, зовнішня поверхня, матеріальна частинка, диференціальні рівняння, кінематичні параметри.

Постановка проблеми. Найбільш дослідженим є рух частинок по горизонтальній площині, яка здійснює коливальний прямолінійний або коловий рухи. Для похилої площини дослідження переважно ведуться при її прямолінійних зворотно-поступальних коливаннях [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задача руху матеріальної частинки по площині, яка здійснює коловий коливальний рух, вперше була розв'язана М.Є. Жуковським [1], поширена на випадки еліптичних коливань І.І. Блехманом [2]. П.М. Василенко диференціальні рівняння руху частинки складав у проєкціях на осі рухомої системи координат, жорстко прив'язаної до площини, а І.І. Блехман – нерухомої. П.М. Заїка розглядав переміщення частинок по площинах вібраційних зерноочисних машин [3]. Дослідження руху частинки по шорсткій горизонтальній площині, яка здійснює горизонтальні поступальні коливання, розглянуто в праці [4], а рух частинок по похилій площині, всі точки якої описують еліпси, – у [5].

Формулювання цілей статті. Метою статті є викладення результатів досліджень закономірностей руху матеріальних частинок по зовнішній поверхні циліндра, який здійснює колові поступальні коливання в горизонтальних площинах, при різних кутах його нахилу.

Основна частина. У наших попередніх дослідженнях була викладена методологія дослідження руху частинки по зовнішній поверхні циліндра, який здійснює колові поступальні коливання в горизонтальних площинах. Розглянемо окремі випадки, які виникають при такому русі.

Випадок перший. Циліндр радіуса $R=5$ м розташований так, що всі його прямолінійні твірні паралельні горизонтальній площині. Радіус кіл, по яких рухаються точки циліндра $r=0,05$ м, коефіцієнт тертя $f=0,3$.

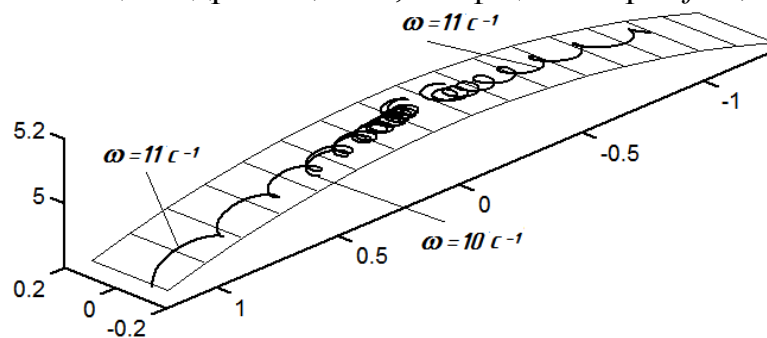


Рис. 1. Траєкторії відносного руху частинки по поверхні горизонтального циліндра, який здійснює коливальний рух протягом 5 с

На рис. 1 побудовані відносні траєкторії частинки, яка попадає на поверхню циліндра біля його найвищої прямолінійної твірної. Коливальний рух відбувається в напрямі лінії найбільшого нахилу. Як видно із рис. 1, відносний рух частинки дуже чутливий до частоти коливань ω : при зростанні ω з 10 c^{-1} до 11 c^{-1} довжина пройденого шляху суттєво зростає.

Випадок другий. Циліндр нахилений під кутом β до горизонту і є нерухомим ($\omega=0$). Коли кут β дорівнює куту тертя та частинці надано початкову швидкість руху вздовж найвищої прямолінійної твірної циліндра, то вона із цією швидкістю і далі продовжуватиме рух (траєкторія 1 на рис. 2). Якщо початкову швидкість надати в іншому напрямі, траєкторія руху буде криволінійна і рух прискореним. На рис. 2 зображено ще дві траєкторії, які починаються з точки на верхній твірній циліндра, при різній величині швидкості в поперечному і поздовжньому напрямках.

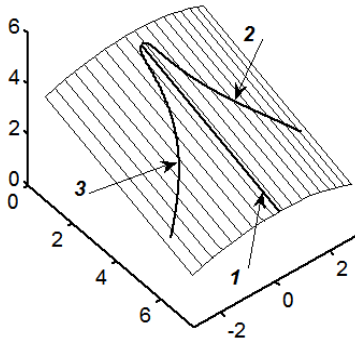


Рис. 2. Траєкторії руху частинки по нерухомому циліндру, нахиленому під кутом тертя

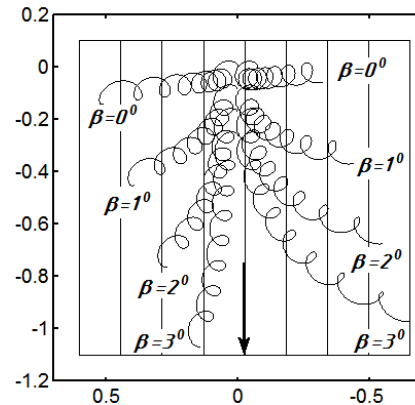


Рис. 3. Траєкторії відносного руху частинки по циліндру, нахиленому під різними кутами β

Якщо кут нахилу циліндра менший кута тертя, то існують ділянки на поверхні, коли частинка зупиняється або не починає рух зі стану спокою. Якщо кут нахилу більший кута тертя, частинка починає розганятися з будь-якої точки поверхні незалежно від початкової швидкості.

Випадок третій. Циліндр нахилений під кутом β до горизонту і здійснює поступальні коливання. При відсутності кута нахилу циліндра частинка ковзає по ньому в поперечному напрямі (рис. 1). Цей випадок показано на горизонтальній проекції (рис. 3) при $\omega=10 \text{ c}^{-1}$. Нахил циліндра всього на 1° суттєво відхиляє траєкторію руху частинки в сторону нахилу (на рис. 3 лінія нахилу найвищої твірної циліндра позначена стрілкою).

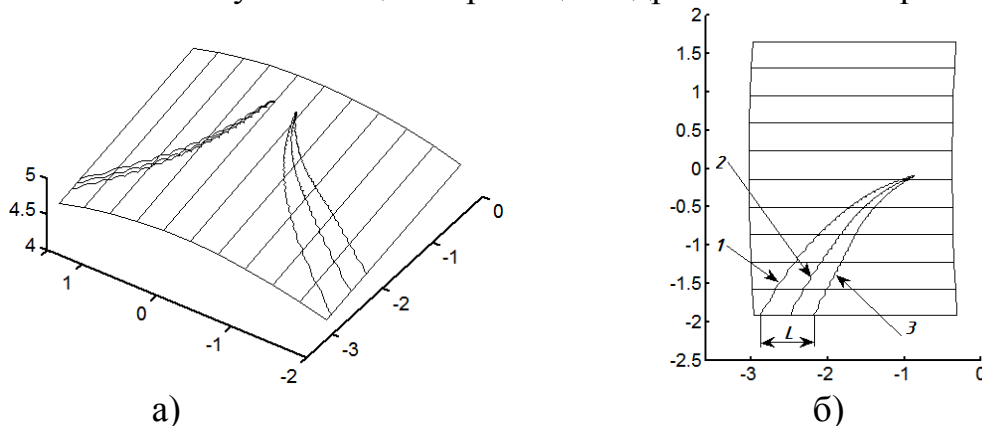


Рис. 4. Траєкторії відносного руху частинок з різними коефіцієнтами тертя по поверхні похилого циліндра: а) $r=0,02 \text{ м}$ (ліворуч) і $r=0,01 \text{ м}$ (праворуч); б) траєкторії на горизонтальній проекції

На рис. 4 побудовані траєкторії для частинок із різним коефіцієнтом тертя. Було взято циліндр із радіусом $R=5$ м і кутом його нахилу $\beta=10^\circ$. Частота коливань $\omega=20$ с⁻¹. Значення коефіцієнта тертя $f=0,25\dots 0,35$.

Ліворуч на рис. 4,а побудовані траєкторії для $r=0,02$ м, які майже зливаються. Якщо ж радіус r коливань зменшити до $0,01$ м, то траєкторії відносного руху частинок по мірі їх ковзання по поверхні циліндра віддаляються одна від одної на значну відстань. Ці траєкторії побудовані на рис. 4,а праворуч. На рис. 4,б зображено поверхню циліндра і траєкторії руху частинок по ньому при $r=0,02$ м. Цифрами позначено траєкторії для частинок із різним коефіцієнтом тертя: 1 – 0,25; 2 – 0,3; 3 – 0,35. Різниця L у відстані між крайніми точками у момент сходу частинок з відсіку циліндра становить близько 1 м.

Висновки. При коливальному русі горизонтального циліндра частинка теж здійснює коливальний рух, пересуваючись по його зовнішній поверхні в поперечному напрямі по відношенню до прямолінійних твірних циліндра. При нахилі циліндра на незначний кут траєкторія переміщення частинок суттєво змінюється, відхиляючись від поперечного напрямку в сторону нахилу циліндра. Частинки із різним коефіцієнтом тертя рухаються по різних траєкторіях, причому відстань між ними збільшується по мірі ковзання по поверхні. Це може бути використано для сепарації технологічного матеріалу за його фрикційними властивостями.

Література

1. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1980. 304 с.
2. Блехман И.И. Вибрационная механика. М.: Физматлит, 1994. 400 с.
3. Заика П.М. Об одном семействе регулярных режимов движения частицы по колеблющейся плоскости вибрационной зерноочистительной машины. *Теория механизмов и машин*. Х.: Изд. ХГУ им. М. Горького, 1966. Вып. 1. С. 28 – 33.
4. Войтюк Д.Г., Пилипака С.Ф. Дослідження руху матеріальної частинки по шорсткій площині, яка здійснює горизонтальні криволінійні поступальні коливання. *Техніка АПК*, 2004. № 10 – 11. С. 26 – 28.
5. Клендій М.Б., Пилипака С.Ф. Взаємодія похилої площини, всі точки якої при поступальному коливанні описують еліпси, із частинками матеріалу. *Механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвідомчий тематичний науковий збірник*, 2013. Вип. 98. Т. 1. С. 574 – 587.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЧКИ ПО ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРА ПРИ ЕГО ПОСТУПА- ТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПЛОСКОСТЯХ

Волина Т.Н., Пилипака С.Ф.

В статье изложены результаты исследования движения материальной частички по внешней поверхности цилиндра, который осуществляет колебательные движения. Все точки цилиндра описывают окружности в горизонтальных плоскостях. При колебательном движении горизонтального цилиндра материальная частица также осуществляет колебательное движение, передвигаясь по его наружной поверхности в поперечном направлении по отношению к прямолинейным образующим цилиндра. Относительное движение частицы очень чувствительно к частоте колебаний: при возрастании частоты колебаний длина пройденного пути существенно возрастает. Установлено, что материальные частицы с различным коэффициентом трения движутся по разным траекториям, причем расстояние между ними увеличивается по мере скольжения по поверхности. Построены траектории относительного движения частицы по поверхности цилиндра. Приведены графики других кинематических характеристик в функции времени. Рассмотрены частные случаи, когда ось цилиндра расположена горизонтально или под углом трения к горизонтальной плоскости. При наклоне цилиндра даже на незначительный угол траектория перемещения частиц существенно меняется, отклоняясь от поперечного направления в сторону наклона цилиндра. Кроме того, рассмотрен случай движения материальной частицы по стационарному цилиндру, наклоненному под углом к горизонтальной плоскости. Когда угол наклона равен углу трения, движение частицы зависит от начальных условий. Если ей придать начальную скорость движения вдоль самой высшей прямолинейной образующей цилиндра, то она с этой скоростью и дальше будет продолжать движение по ней. Если начальную скорость задать в другом направлении, то траектория движения будет криволинейной и движение ускоренным. Результаты исследования закономерностей движения материальных частиц могут быть использованы для сепарации технологического материала по его фрикционным свойствам.

Ключевые слова: относительное движение, наклонный цилиндр, внешняя поверхность, частичка, дифференциальные уравнения, кинематические параметры.

THE RESULTS OF THE INVESTIGATION OF THE PARTICLE MOVEMENT ON THE CYLINDER OUTER SURFACE DURING ITS PROGRESSIVE OSCILLATIONS IN HORIZONTAL PLANES

Tatiana Volina, Serhii Pylypaka

The results of the investigation of the material particle movement on the

cylinder outer surface during its progressive oscillations is considered in the article. All points of the cylinder describe circles in horizontal planes. During the oscillating motion of a horizontal cylinder, the material particle also performs an oscillating motion and moves along its outer surface in the transverse direction relatively the rectilinear generators of the cylinder. The relative motion of the material particle is very sensitive to the frequency of oscillations: when the frequency of oscillations is growing, the length of the path increases significantly. The particles with different coefficients of friction have different trajectories and the distance between them increases as they slide on the surface. The trajectories of the relative motion of the particle on the surface of the cylinder are constructed. The graphs of other kinematic characteristics as a function of time are given. Partial cases when the axis of the cylinder is located horizontally or at an angle of friction to the horizontal plane are considered. When the cylinder is inclined, even at a little angle, the trajectory of the material particles changes significantly, deviating from the transverse direction toward the inclination of the cylinder. The case of motion of a material particle on a stationary cylinder inclined at an angle to the horizontal plane is considered. When the angle of inclination is equal to the angle of friction, the motion of the particle depends on the initial conditions. If the initial velocity is given along the highest rectilinear generatrix of the cylinder, it will continue to move along it with this speed. If the initial speed is given in the other direction, the trajectory will be curved and the movement accelerates. The results of the research of the laws of motion of material particles on the outer surface of the cylinder can be used to separate the technological material by its frictional properties.

Keywords: relative motion, inclined cylinder, outer surface, particle, differential equations, kinematic parameters.

References

1. Gortinskij, V.V., Demskij, A.B., Boriskin, M.A. (1980) Separation processes at grain processing plants. M.: Kolos [in Russian].
2. Blekhman, I.I. (1984) Vibration mechanics. M.: Fizmatlit [in Russian].
3. Zaika, P.M. (1966) About one family of regular particle modes of movement on the oscillating plane of the vibrating grain-cleaning machine. *Teoriya mekhanizmov i mashin*. Kh.: Izd. KhGU im. M. Gor`kogo, 1, 28–33 [in Russian].
4. Vojtyuk, D.G., Pilipaka, S.F. (2004) Investigation of the movement of a material particle on a rough plane, which carries out horizontal curvilinear translational oscillations. *Tekhnika APK*, 10 – 11, 26 – 28 [in Ukrainian].
5. Klendi`j, M.B., Pilipaka, S.F. (2013) The interaction of an inxxile plane, all points of which during translational fluctuations describe ellipses, with particles of material. *Mekhani`zaczi`ya ta elektrifi`kaczi`ya si`l`s`kogo gospodarstva. Mi`zhvi`domchij tematichnij naukovij zbi`rnik*, 98, 1, 574 – 587 [in Ukrainian].