

ISSN 2663-1334 (print)
ISSN 2663-1342 (online)

<http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.04>

Machinery & Energetics

Journal of Rural Production Research

since 2010 till 2018

[Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science
of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK.
ISSN 2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

Vol. 11

№ 4

(October – December)

Kyiv – 2020

Editor-in-Chief

Prof. Vyatseslav Loveykin, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Vice-Editor

PhD Oleksandr Synyavskiy, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

PhD Ivan Rogovskii, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Assistants Editor

PhD Viktoriya Kyrylyuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Editorial Board

Prof. Andrey Tevyashev, Kharkov National University of Radio Electronics, Ukraine

Prof. Andriy Boyko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Andrzej Marczuk, University of Life Sciences in Lublin, Poland

Prof. Dainis Viesturs, Latvia University of Agriculture, Latvia

Prof. Dmytro Voytiuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Gennadiy Golub, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Georgiy Tayanowski, University of Agriculture in Minsk, Bielarus

Prof. Henryk Sobczuk, Polish Academy of Sciences, Poland

Prof. Janusz Wojdalski, Warsaw University of Life, Poland

Prof. Larysa Bal-Prylypko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Leonid Aniskevych, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Ludvikas Spokas, Agrarian University in Kaunas, Lithuania

Prof. Natalia Kosuhina, Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko, Ukraine

Prof. Ondrej Savec, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

Prof. Petro Yevych, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic

Prof. Povilas A. Sirvydas, Agrarian University in Kaunas, Lithuania

Prof. Stanislaw Sosnowski, University of Engineering and Economics in Rzeszów, Poland

Prof. Tadeusz Złoto, Częstochowa University of Technology, Poland

Prof. Valeriy Fedoreiko, Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

Prof. Valeriy Voytiuk, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Valery Adamchuk, National Scientific Centre «Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture» in Kyiv, Ukraine

Prof. Vitaliy Lysenko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Vjacheslav Shebanin, Mykolayiv National Agrarian University, Ukraine

Prof. Volodymyr Boyko, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Volodymyr Bulgakov, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Volodymyr Gorobets, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Volodymyr Gorobetz, National Agrarian University of Moldova, Moldova Republic

Prof. Volodymyr Kozyrskii, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Volodymyr Kravchuk, State Scientific Organization „Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production”, Ukraine

Prof. Vyatcheslav Adamchuk, University McGill, Canada

Prof. Waclaw Romaniuk, Institute of Technology and Life Sciences Branch in Warsaw, Poland

Prof. Wojciech Tanaś, University of Life Sciences in Lublin, Poland

Prof. Yevgen Aftandilyants, National University of Life and Environmental Science of Ukraine in Kyiv, Ukraine

Prof. Yuriy Jatskevich, University of British Columbia in Vancouver, Canada

All the articles are available on the webpage: www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Ivan Rogovskii*

Typeset: *Ivan Rogovskii*

Cover design: *Liudmyla Titova*

Photo on the cover: *Ivan Rogovskii*

© Copyright by National University of Life and Environmental Science of Ukraine, 2020

Editorial Office address

National University of Life and Environmental Science of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kyiv, Ukraine, 03041

e-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

Printing

AgroMediaGroup, Novokonstantinivska Str. 4a, 04-080 Kyiv, Ukraine

Publishing Office address

AgroMediaGroup, Novokonstantinivska Str. 4a, 04-080 Kyiv, Ukraine

ISSN 2663-1334 (print)

ISSN 2663-1342 (online)

Edition 100+16 vol.

ISSN 2663-1334 (print)
ISSN 2663-1342 (online)

<http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.04>

Техніка та енергетика

*Журнал наукових досліджень
сільськогосподарського виробництва*

з 2010 року до 2018 року

[Науковий вісник Національного університету біоресурсів і
природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК
ISSN 2222-8594 (print). ISSN 2415-7694 (online)]

Випуск 11

№ 4

(жовтень – грудень)

Київ – 2020

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Редкол. : В. С. Ловейкін (голов. ред.) та ін. Київ. 2020. Вип. 11. № 4. 202 с.

Висвітлено результати наукових досліджень, проведених працівниками Національного університету біоресурсів і природокористування України і в співпраці із закордонними науковцями, працівниками навчальних закладів Міністерства освіти і науки України та науково-дослідних інститутів НАН України, НААН України і Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України.

Редакційна колегія: В. С. Ловейкін, д-р техн. наук, проф. (головний редактор); О. Ю. Синявський, канд. техн. наук, доц. (заступник головного редактора); І. Л. Роговський, канд. техн. наук, старший наук. співр. (заступник головного редактора); В. І. Кирилюк, канд. с.-г. наук, доц. (відповідальний секретар); В. І. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; В. В. Адамчук, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Аніскевич, д-р техн. наук, проф.; Є. Г. Афтанділянц, д-р техн. наук, проф.; Л. В. Баль-Прилипка, д-р техн. наук, проф.; В. М. Булгаков, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Войтюк, д-р техн. наук, проф.; І. В. Головач, д-р техн. наук, проф.; Г. А. Голуб, д-р техн. наук, проф.; М. В. Гребченко, д-р техн. наук, проф.; А. В. Жильцов, д-р техн. наук, проф.; М. М. Заблудський, д-р техн. наук, проф.; Н. А. Заєць, д-р. техн. наук, доц.; В. В. Каплун, д-р техн. наук, проф.; В. В. Коваль, д-р техн. наук, проф.; В. В. Козирський, д-р техн. наук, проф.; Н. Г. Косуліна, д-р техн. наук, проф.; В. П. Лисенко, д-р техн. наук, проф.; К. Г. Лопатько, д-р техн. наук, доц.; І. І. Назаренко, д-р техн. наук, проф.; В. М. Несвідомін, д-р техн. наук, проф.; С. Ф. Пилипака, д-р техн. наук, проф.; В. М. Решетюк, канд. техн. наук, доц.; В. Романюк, д-р техн. наук, проф.; Г. Собчук, д-р техн. наук, проф.; О. Б. Таширевіч, д-р техн. наук, проф.; В. С. Федорейко, д-р техн. наук, проф.; С. П. Циганков, д-р техн. наук, старший наук. співр.; М. Г. Чаусов, д-р техн. наук, проф.; С. А. Шворов, д-р техн. наук, проф.; Ю. Яцкевич, д-р техн. наук, проф.

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 3 від 28 жовтня 2020 р.

Науковий журнал «Machinery & Energetics» на підставі наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток № 1) внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б» у галузі технічних наук з спеціальностей 131 і 133), який є правонаступником наукового видання «Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК», який згідно з наказами Міністерства освіти і науки України від 13 липня 2015 р. № 747 та від 07 травня 2019 р. № 612 внесений до переліку наукових друкованих фахових видань України, в яких можуть бути опубліковані результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступеней доктора і кандидата технічних наук.

Науковий журнал «Machinery & Energetics» внесено до бібліографічної бази даних наукових публікацій внесено до бібліографічних баз даних наукових публікацій CrossRef, РІНЦ, Ulrich's Periodicals Directory, USJ, BASE, SIS, AGRIS, індексується Google Scholar, RePEc, ResearchBib, MIAR.

Відповідальний за випуск І. Л. Роговський.

Адреса редколегії: 03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України, тел. 527-82-41

© Національний університет біоресурсів і
природокористування України, 2020

УДК 631.312

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТИНКИ ПО ЗОВНІШНІЙ ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРА ПІД ЧАС ЙОГО ПОСТУПАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ В ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПЛОЩИНАХ

Т. М. Волина, С. Ф. Пилипака

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна,

Стаття з спеціальності: 131 – прикладна механіка.

Кореспонденція авторки: t.n.zaharova@ukr.net.

Історія статті: отримано – серпень 2020, акцептовано – жовтень 2020.

Бібл. 7, рис. 5, табл. 0.

Анотація. У статті складено диференціальні рівняння відносного переміщення частинки по зовнішній поверхні похилого циліндра, який здійснює коливальний рух. Усі точки циліндра описують кола в горизонтальних площинах. Рівняння розв'язано чисельними методами і 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.

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

Постановка проблеми

У праці [1] зазначено, що похила площина є універсальним конструктивним елементом багатьох сільськогосподарських машин. По площині, що коливається, у процесі обробки переміщується технологічний матеріал. Найбільш дослідженим є рух частинок по горизонтальній площині, яка здійснює коливальний прямолінійний або коловий рух. Для похилої площини дослідження в основному ведуться при її прямолінійних зворотно-поступальних коливаннях в різних напрямках по відношенню до лінії найбільшого нахилу [1]. Цікавим з пізнавальної точки зору є рух частинок по циліндричній поверхні, оскільки при великому радіусі циліндра обмежена ділянка його поверхні, де відбувається відносний рух, буде близькою до площини. Відповідно і траєкторії відносного руху в такому випадку мають бути подібними для площини і циліндра.

Аналіз останніх досліджень

Окрім фундаментальної монографії [1], в якій розглянуто прямолінійні зворотно-поступальні коливання, існують праці, присвячені криволінійним коливанням площини. Взагалі задача руху матеріальної частинки по площині, яка здійснює коловий колива-

льний рух, вперше була розв'язана М.Є. Жуковським в геометричній інтерпретації [2], узагальнена і поширена на випадки еліптичних коливань І.І. Блехманом [3, 4]. П.М. Василенко диференціальні рівняння руху частинки складав у проекціях на осі рухомої системи координат, жорстко прив'язаної до площини, що коливається, а І.І. Блехман - у проекціях на осі нерухомої системи координат. П.М. Заїка розглядав переміщення частинок по робочих площинах вібраційних зерноочисних машин [5]. Дослідження руху матеріальної частинки по шорсткій горизонтальній площині, яка здійснює горизонтальні поступальні коливання по різних кривих, розглянуто в праці [6]. У праці [7] вивчено рух частинок по похилій площині, всі точки якої описують еліпси.

Мета досліджень

Дослідити закономірності руху матеріальних частинок по зовнішній поверхні циліндра, який здійснює колові поступальні коливання в горизонтальних площинах, при різних кутах його нахилу.

Результати досліджень

Розташуємо верхню половину циліндра так, щоб його вісь була нахилена до горизонтальної площини під кутом β (рис. 1). Спочатку запишемо рівняння циліндра із горизонтальною віссю, якою є вісь OX :

$$X = u; \quad Y = R \cos \alpha; \quad Z = -R \sin \alpha. \quad (1)$$

де R – радіус циліндра;

α , u – незалежні змінні поверхні, де α – кут повороту точки циліндра навколо його осі; u – довжина прямолінійної твірної циліндра.

Повернемо циліндр (1) на кут β навколо осі OY . Параметричні рівняння повернутого циліндра запишуться:

$$\begin{aligned} X &= u \cos \beta + R \sin \beta \sin \alpha; \\ Y &= R \cos \alpha; \\ Z &= u \sin \beta - R \cos \beta \sin \alpha. \end{aligned} \quad (2)$$

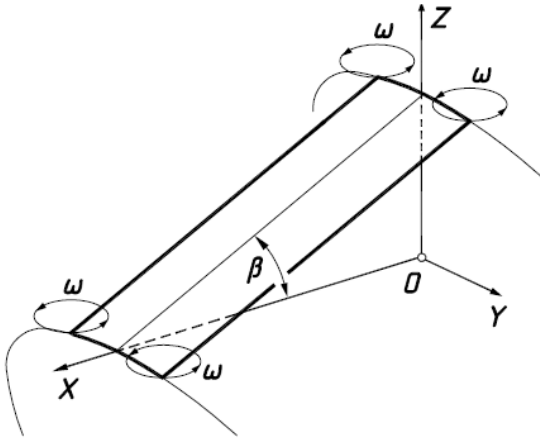


Рис. 1. Схема руху точок похилого циліндра по колах із кутовою швидкістю ω .

Fig. 1. The scheme of movement of the points of the inclined cylinder by circles with angular velocity ω .

Циліндр здійснює поступальні коливання таким чином, що всі його точки описують кола в горизонтальних площинах (на рис. 1 показані траєкторії переміщення чотирьох точок циліндра). Абсолютний рух частинки будемо розглядати по відношенню до нерухомої системи координат $OXYZ$. Якщо циліндр прив'язати до рухомої системи координат, то при коливанні циліндра осі рухомої і нерухомої систем весь час будуть паралельними. Це означає, що абсолютну траєкторію частинки можна записати як суму переносного руху циліндра, точки якого описують кола, і відносного руху точки по поверхні циліндра:

$$\begin{aligned} x &= x_r + x_e; \\ y &= y_r + y_e; \\ z &= z_r + z_e, \end{aligned} \quad (3)$$

де $x_e = x_e(t)$; $y_e = y_e(t)$; $z_e = z_e(t)$ – траєкторія переносного руху циліндра у функції часу t ;

$x_r = x_r(t)$; $y_r = y_r(t)$; $z_r = z_r(t)$ – траєкторія відносного руху частинки по поверхні циліндра у функції часу t .

Позначимо радіус кіл, по яких рухаються точки циліндра, через r . Тоді переносний рух точок циліндра буде описано рівняннями:

$$\begin{aligned} x_e &= r \cos \omega t; \\ y_e &= r \sin \omega t; \\ z_e &= h, \end{aligned} \quad (4)$$

де ω – кутова швидкість обертання точок циліндра по колах;

$h = \text{const}$ – висота точки циліндра по відношенню до початку координат.

По циліндру точка ковзатиме по певній траєкторії. Рівняння траєкторії можна отримати, якщо зв'язати між собою незалежні змінні α і u поверхні (2). Цей зв'язок запишемо через час t , тобто координати частинки на поверхні циліндра будуть функціями часу: $\alpha = \alpha(t)$ і $u = u(t)$. У такому випадку відносний рух частинки буде описано рівняннями:

$$\begin{aligned} x_r &= u \cos \beta + R \sin \beta \sin \alpha; \\ y_r &= R \cos \alpha; \\ z_r &= u \sin \beta - R \cos \beta \sin \alpha. \end{aligned} \quad (5)$$

Сумуючи переносний (4) і відносний (5) рухи за формулою (3), отримаємо рівняння абсолютної траєкторії частинки:

$$\begin{aligned} x &= u \cos \beta + R \sin \beta \sin \alpha + r \cos \omega t; \\ y &= R \cos \alpha + r \sin \omega t; \\ z &= u \sin \beta - R \cos \beta \sin \alpha + h. \end{aligned} \quad (6)$$

Залежності $\alpha = \alpha(t)$ і $u = u(t)$, які описують траєкторію відносного руху (ковзання частинки по поверхні циліндра), є невідомими функціями, які потрібно знайти. Після диференціювання рівнянь (6) по часу t знайдемо проекції абсолютної швидкості частинки:

$$\begin{aligned} x' &= -r\omega \sin \omega t + u' \cos \beta + R\alpha' \sin \beta \cos \alpha; \\ y' &= r\omega \cos \omega t - R\alpha' \sin \alpha; \\ z' &= u' \sin \beta - R\alpha' \cos \beta \cos \alpha. \end{aligned} \quad (7)$$

Диференціювання виразів (7) дасть проекції абсолютного прискорення:

$$\begin{aligned} x'' &= -r\omega^2 \cos \omega t - R\alpha'^2 \sin \beta \sin \alpha + \\ &+ u'' \cos \beta + R\alpha'' \sin \beta \cos \alpha; \\ y'' &= -r\omega^2 \sin \omega t - R\alpha'^2 \cos \alpha - R\alpha'' \sin \alpha; \\ z'' &= R\alpha'^2 \cos \beta \sin \alpha + u'' \sin \beta - R\alpha'' \cos \beta \cos \alpha. \end{aligned} \quad (8)$$

Складемо рівняння руху у вигляді $m\bar{w} = \bar{F}$, де m – маса частинки, \bar{w} – вектор абсолютного прискорення, \bar{F} – результуючий вектор прикладених до частинки сил. Такими силами є сила ваги mg ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$), реакція N поверхні циліндра та сила тертя fN при ковзанні частинки по поверхні циліндра (f – коефіцієнт тертя). Усі сили потрібно спроеціювати на осі системи координат $OXYZ$.

Сила ваги спрямована вниз, отже її проекції запишуться:

$$\{0; 0; -mg\}. \quad (9)$$

Реакція поверхні циліндра N спрямована по нормалі до нього і визначається із векторного добутку двох векторів, дотичних до координатних ліній циліндра. Проекціями цих векторів є частинні похідні рівнянь (2):

$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial \alpha} &= R \sin \beta \cos \alpha; \\ \frac{\partial Y}{\partial \alpha} &= -R \sin \alpha; \\ \frac{\partial Z}{\partial \alpha} &= -R \cos \beta \cos \alpha; \\ \frac{\partial X}{\partial u} &= \cos \beta; \\ \frac{\partial Y}{\partial u} &= 0; \\ \frac{\partial Z}{\partial u} &= \sin \beta. \end{aligned} \quad (10)$$

Векторне множення векторів (10) може дати два протилежно спрямованих вектори нормалі – або всередину циліндра, або на зовні від нього. Це залежить від заміни місцями векторів (10) у визначнику векторного добутку. Перший добуток відповідає руху частинки по внутрішній поверхні циліндра, а другий – по зовнішній. Із урахуванням цього знайдено вектор нормалі і приведено його до одиничного:

$$\{\sin \beta \sin \alpha; \cos \alpha; -\cos \beta \sin \alpha\}. \quad (11)$$

Оскільки сила тертя спрямована по дотичній до траєкторії відносного руху частинки в протилежну сторону, знайдемо проекції вектора дотичної. Вони визначаються першими похідними рівнянь (5):

$$\begin{aligned} x'_r &= u' \cos\beta + R\alpha' \sin\beta \cos\alpha; \\ y'_r &= -R\alpha' \sin\alpha; \\ z'_r &= u' \sin\beta - R\alpha' \cos\beta \cos\alpha. \end{aligned} \quad (12)$$

Геометрична сума складових (12) дасть величину швидкості ковзання частинки по поверхні циліндра у відносному русі:

$$V_r = \sqrt{x_r'^2 + y_r'^2 + z_r'^2} = \sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}. \quad (13)$$

Одиничний вектор дотичної в проєкціях на осі системи $OXYZ$ одержимо діленням проєкцій (12) на величину вектора (13):

$$\left\{ \begin{aligned} &\frac{u' \cos\beta + R\alpha' \sin\beta \cos\alpha}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}}; \\ &\frac{R\alpha' \sin\alpha}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}}; \\ &\frac{u' \sin\beta - R\alpha' \cos\beta \cos\alpha}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}} \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Розпишемо векторне рівняння $m\bar{w} = \bar{F}$ в проєкціях на осі системи координат, взявши до уваги, що сила тертя fN спрямована вздовж одиничного вектора (14) в протилежну від нього сторону:

$$\begin{aligned} mx'' &= N \sin\beta \sin\alpha - \\ &- fN \frac{u' \cos\beta + R\alpha' \sin\beta \cos\alpha}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}}; \\ my'' &= N \cos\alpha - fN \frac{R\alpha' \sin\alpha}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}}; \\ mz'' &= -mg - N \cos\beta \sin\alpha - \\ &- fN \frac{u' \sin\beta - R\alpha' \cos\beta \cos\alpha}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Підставимо в рівняння (15) другі похідні (проєкції абсолютного прискорення) із (8) і отримаємо систему із трьох рівнянь:

$$\begin{aligned} m(-r\omega^2 \cos\omega t - R\alpha'^2 \sin\beta \sin\alpha + \\ + u'' \cos\beta + R\alpha'' \sin\beta \cos\alpha) &= \\ = N \sin\beta \sin\alpha - \\ - fN \frac{u' \cos\beta + R\alpha' \sin\beta \cos\alpha}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}}; \\ m(-r\omega^2 \sin\omega t - R\alpha'^2 \cos\alpha - R\alpha'' \sin\alpha) &= \\ = N \cos\alpha - fN \frac{R\alpha' \sin\alpha}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}}; \\ m(R\alpha'^2 \cos\beta \sin\alpha + u'' \sin\beta - R\alpha'' \cos\beta \cos\alpha) &= \\ = -mg - N \cos\beta \sin\alpha - \\ - fN \frac{u' \sin\beta - R\alpha' \cos\beta \cos\alpha}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}}. \end{aligned} \quad (16)$$

До системи (16) входить три невідомі функції: $N=N(t)$, $u=u(t)$ і $\alpha=\alpha(t)$. Розв'язуючи її відносно N , u'' і α'' , отримаємо наступні вирази:

$$\alpha'' = \frac{1}{R} [-r\omega^2 \sin\alpha \sin\omega t + (r\omega^2 \sin\beta \cos\omega t + \\ + g \cos\beta) \cos\alpha] + \frac{Af\alpha'}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}}; \quad (17)$$

$$u'' = r\omega^2 \cos\beta \cos\omega t - g \sin\beta + \frac{Afu'}{\sqrt{u'^2 + R^2 \alpha'^2}};$$

$$N = -mA,$$

де $A = R\alpha'^2 + g \cos\beta \sin\alpha + r\omega^2 (\cos\alpha \sin\omega t + \sin\beta \sin\alpha \cos\omega t)$.

Система (17) не може бути проінтегрована в аналітичному вигляді. Її потрібно розв'язувати чисельними методами. Знайшовши залежності $\alpha=\alpha(t)$ і $u=u(t)$ і підставивши їх у рівняння (2), ми одержимо відносну траєкторію руху частинки по поверхні циліндра, тобто траєкторію ковзання. Розглянемо окремі випадки.

Випадак перший. Кут $\beta=0$, тобто циліндр розташований так, що всі його прямолінійні твірні паралельні горизонтальній площині. Інтегрування системи (17) здійснювали при $r=0,05$ м, $R=5$ м. На рис. 2 побудовані відносні траєкторії частинки, яка попадає на поверхню циліндра біля його найвищої прямолінійної твірної. Коливальний рух частинки відбувається в напрямі, перпендикулярному твірним циліндра, тобто в напрямі лінії найбільшого нахилу. В залежності від точки попадання частинка рухається в одну або протилежну сторону, причому амплітуда коливань зростає. Як видно із рис. 2, відносний рух частинки дуже чутливий до частоти коливань: при зростанні ω з 10 c^{-1} до 11 c^{-1} довжина пройденого шляху суттєво зростає.

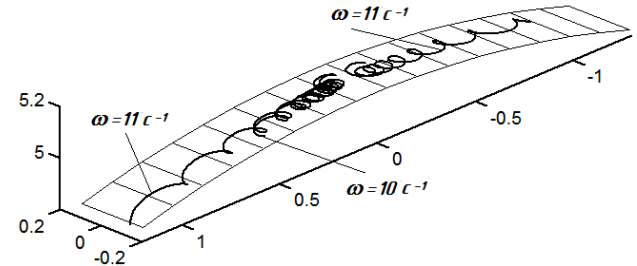


Рис. 2. Траєкторії відносного руху частинки по поверхні горизонтального циліндра, який здійснює коливальний рух протягом 5 с при $R=5$ м; $r=0,05$ м; $f=0,3$.

Fig. 2. Trajectories of relative movement of a particle on the surface of a horizontal cylinder, which performs oscillatory motion during 5 s at $R=5$ m; $r=0.05$ m; $f=0.3$.

Випадак другий. Циліндр нахилений під кутом β до горизонту і є нерухомим ($\omega=0$).

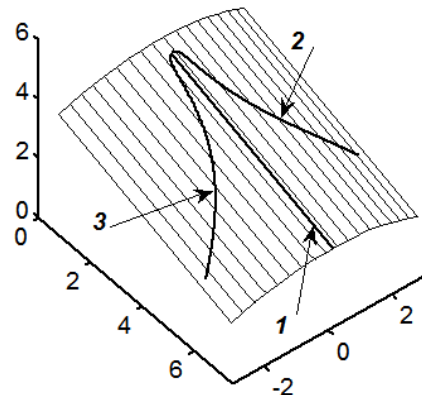


Рис. 3. Траєкторії руху частинки по нерухомому циліндру, нахиленому під кутом тертя ($R=5$ м; $f=0,3$; $\beta=\arctg f=16,3^\circ$).

Fig. 3. Trajectory of particle movement on a fixed cylinder, inclined at an angle of friction ($R=5$ m; $f=0.3$; $\beta=\arctg f=16.3^\circ$).

Коли кут β дорівнює куту тертя ($\beta = \arctg f$), то рух частинки залежить від початкових умов. Якщо їй надати початкову швидкість руху вздовж найвищої прямолинійної твірної циліндра, то вона із цією швидкістю і далі продовжуватиме рух по ній (траєкторія 1 на рис. 3). Чисельне інтегрування системи диференціальних рівнянь (17) дає цей результат. Якщо початкову швидкість надати в іншому напрямі, то траєкторія руху буде криволінійною і рух прискореним. На рис. 3 зображено ще дві траєкторії, які починаються зі спільної точки на верхній твірній циліндра. Початкова швидкість частинки, яка описала траєкторію 2, задавалася початковими значеннями сталих інтегрування $\alpha' = 0,2$ і $u' = 0$. Ці сталі задають величину швидкості в поперечному і поздовжньому напрямках в початковій точці. Траєкторія 3 побудована при $\alpha' = -0,15$ і $u' = 0,5$.

Якщо кут нахилу циліндра менший кута тертя, то існують ділянки на його поверхні, коли початкова швидкість зменшується до нуля, тобто частинка зупиняється або ж не починає рух із стану спокою.

Якщо кут нахилу циліндра більший кута тертя, то частинка починає розганятися з будь-якої точки поверхні незалежно від величини початкової швидкості.

Випадає третій. Циліндр нахилений під кутом β до горизонту і здійснює поступальні коливання.

При відсутності кута нахилу циліндра частинка ковзає по ньому, рухаючись в поперечному напрямі (рис. 2). Цей випадок також показано на горизонтальній проекції (рис. 4) при $\omega = 10 \text{ c}^{-1}$. Напрямок просування частинки в коливальному русі значною мірою залежить від кута нахилу β циліндра. Нахил циліндра всього на 1 градус суттєво відхиляє траєкторію руху частинки в сторону нахилу (на рис. 4 лінія нахилу найвищої твірної циліндра спрямована в сторону горизонтальної площини і позначена стрілкою). При збільшенні кута β напрям просування частинки в коливальному русі все більше наближається до верхньої твірної циліндра.

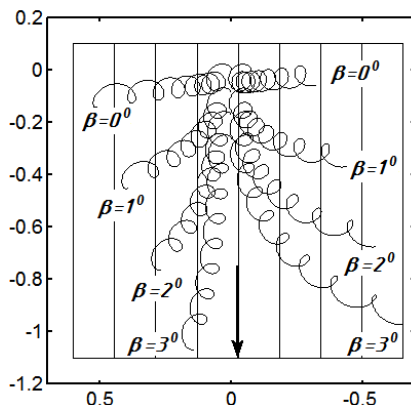


Рис. 4. Траєкторії відносного руху частинки по циліндру, нахиленому під різними кутами β ($R=5 \text{ м}$; $r=0,05 \text{ м}$; $f=0,3$; $\omega = 10 \text{ c}^{-1}$).

Fig. 4. Trajectories of relative particle movement on a cylinder, inclined at different angles β ($R=5 \text{ m}$; $r=0,05 \text{ m}$; $f=0,3$; $\omega = 10 \text{ s}^{-1}$).

З'ясуємо, як впливає на траєкторію відносного руху частинки коефіцієнт тертя f . На рис. 5 побудовані траєкторії для частинки із різним коефіцієнтом тертя. Було взято циліндр із радіусом $R=5 \text{ м}$ і кутом

його нахилу $\beta = 10^\circ$. Частота коливань ω становила 20 c^{-1} . На рис. 5,а побудовані траєкторії для частинки із різним коефіцієнтом тертя і з різними значеннями радіусів r кіл, які описують точки циліндра при його коливальному русі. Значення коефіцієнта тертя f брали в межах від $0,25$ до $0,35$. Ліворуч на рис. 5,а побудовані траєкторії для $r=0,02 \text{ м}$, які майже зливаються. Якщо ж радіус r коливань зменшити до $0,01 \text{ м}$, то траєкторії відносного руху частинки по мірі їх ковзання по поверхні циліндра віддаляються одна від одної на значну відстань. Ці траєкторії побудовані на рис. 5,а праворуч. Отже можна підібрати такі параметри циліндра і його коливань, які можуть забезпечити сепарування технологічного матеріалу в залежності від коефіцієнта тертя. На рис. 5,б зображено поверхню циліндра і траєкторії руху частинки по ньому при $r=0,02 \text{ м}$. Цифрами позначено траєкторії для частинки із різним коефіцієнтом тертя: 1 – $f=0,25$; 2 – $f=0,3$; 3 – $f=0,35$. Різниця L у відстані між крайніми точками у момент сходу частинки із обмеженого відсіку циліндра становить близько 1 м .

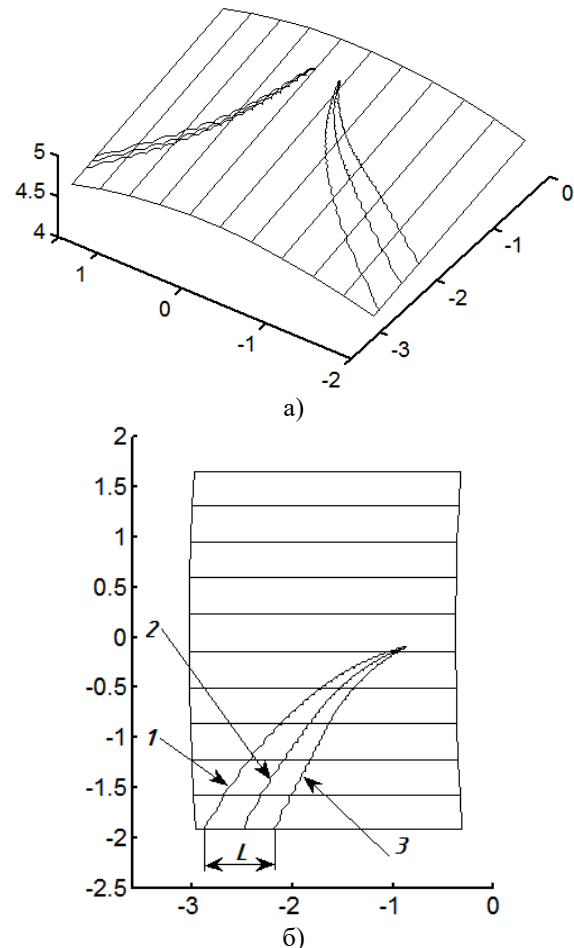


Рис. 5. Траєкторії відносного руху частинки з різними коефіцієнтами тертя по поверхні похилого циліндра ($R=5 \text{ м}$; $\beta=10^\circ$; $\omega = 20 \text{ c}^{-1}$): а) $r=0,02 \text{ м}$ (ліворуч) і $r=0,01 \text{ м}$ (праворуч); б) траєкторії на горизонтальній проекції.

Fig. 5. Trajectories of relative movement of particles with different coefficients of friction on the surface of an inclined cylinder ($R=5 \text{ m}$; $\beta=10^\circ$; $\omega = 20 \text{ s}^{-1}$): а) $r=0,02 \text{ m}$ (left) and $r=0,01 \text{ m}$ (right); б) trajectory on a horizontal plane of projections.

Висновки

1. 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 навіть 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.

Список літератури

1. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев: Изд-во Укр. акад. сельск. наук. 1960. 283 с.
2. Гортинский В. В., Демский А. Б., Борискин М. А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. Москва. Колос. 1980. 304 с.
3. Блехман И. И., Джанелидзе Г. Ю. Вибрационное перемещение. Москва. Наука. 1964. 410 с.
4. Блехман И. И. Вибрационная механика. Москва. Физматлит. 1994. 400 с.
5. Заика П. М. Об одном семействе регулярных режимов движения частицы по колеблющейся плоскости вибрационной зерноочистительной машины. Теория механизмов и машин. Харьков. Изд. ХГУ им. М. Горького. 1966. Вып. 1. С. 28-33.
6. 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.
7. 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.

References

1. Vasilenko P. M. (1960). The theory of particle motion on rough surfaces of agricultural machines. Kyiv: Publishing house of Ukr. acad. rural sciences. 283.
2. Gortinskij V. V., Demskij A. B., Boriskin M. A. (1980). Separation processes at grain processing enterprises. Moscow. Kolos. 304.
3. Blehman I. I., Dzhanelidze G. Yu. (1964). Vibration displacement. Moscow. Science. 410.
4. Blehman I. I. (1994). Vibration mechanics. Moscow. Fizmatlit. 400.
5. Zaika P. M. (1966). About one family of regular modes of motion of a particle along an oscillating plane of a vibrating grain cleaning machine. The theory of mecha-

nisms and machines. Kharkiv. Publishing house of KSU named after M. Gorky. 1. 28-33.

6. Voytyuk D. G., Pylypaka S. F. (2004). Investigation of the motion of a material particle on a rough plane, which performs horizontal curvilinear translational oscillations. Agricultural machinery. 10(11). 26-28.

7. Klendij M. B., Pylypaka S. F. (2013). Interaction of an inclined plane, all points of which are described by ellipses with gradual oscillations, with particles of material. Mechanization and electrification of agriculture. Interdepartmental thematic scientific collection. 98(1). 574-587.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЧКИ ПО ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРА ПРИ ЕГО ПОСТУПАТЕЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПЛОСКОСТЯХ

Т. Н. Волина, С. Ф. Пилипака

Аннотация. В статье составлены дифференциальные уравнения относительного перемещения частицы по наружной поверхности наклонного цилиндра, который осуществляет колебательные движения. Все точки цилиндра описывают окружности в горизонтальных плоскостях. Уравнения решены численными методами и 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 в горизонтальной плоскости.

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

RESEARCH OF PARTICLE MOVEMENT ON CYLINDER OUTER SURFACE DURING ITS PROGRESSIVE OSCILLATIONS IN HORIZONTAL PLANES

T. M. Volina, S. F. Pylypaka

Abstract. The differential equations of relative movement of a particle on the external surface of the inclined cylinder which carries out oscillatory movement were received in the article. All points of the cylinder describe circles in horizontal planes. The equations were solved by numerical methods and the trajectories of the relative motion of the particle on the surface of the cylinder are constructed. 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.

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

Т. М. Волина ORCID 0000-0001-8610-2208.

С. Ф. Пилипака ORCID 0000-0002-1496-4615.

Зміст

1. Аналіз експериментальних досліджень оптимального керування рухом механізму переміщення візка баштового крана <i>В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, О. В. Стехно</i>	5-12
2. Моделювання формування структури в конструкційних сталях <i>Є. Г. Афтандіяни</i>	13-22
3. Моделювання центроїд некруглих коліс із внутрішнім і зовнішнім коченням із дуг симетричних кривих <i>Т. А. Кресан, С. Ф. Пилипака, І. Ю. Грищенко, Я. С. Кремець</i>	23-32
4. Дослідження мобільного комбінованого кормоприготувального агрегату <i>В. С. Хмельовський</i>	33-39
5. Вплив безвідмовності дозуючого елемента з комірками направленої дії пневмомеханічного висівного апарата на ймовірність точності висіву технічних культур <i>П. С. Попик</i>	41-47
6. Ділова гра як спосіб підвищення ефективності навчального процесу при ви-вченні теми надання домедичної допомоги потерпілим у разі нещасних випадків <i>С. М. Голопура, П. О. Чмара</i>	49-56
7. Метод оцінки конкурентоспроможності автотранспортних перевезень на основі багатовимірної векторної моделі показників якості транспортного обслуговування <i>О. М. Загурський</i>	57-63
8. Вплив конструктивних і технологічних параметрів розроблених варіантів борони з гвинтовими робочими органами на ефективність заробляння рослинних решток <i>М. Б. Клендій, М. І. Клендій, Р. В. Шатров</i>	65-71
9. Підходи до оптимізації функціонування транспортних систем міст за екологічними критеріями <i>О. М. Загурський, А. М. Огієнко</i>	73-79
10. Дослідження шарнірного з'єднання гвинтового секційного робочого органу <i>І. І. Чвартацький, А. В. Грабар, Р. В. Шатров</i>	81-87
11. Дискретна модель динаміки руху ланцюгового конвеєра <i>М. М. Коробко</i>	89-94
12. Покращення продуктивності бункера протруювача насіння <i>О. М. Вечера</i>	95-99
13. Дослідження руху частинки по зовнішній поверхні циліндра під час його поступальних коливань в горизонтальних площинах <i>Т. М. Воліна, С. Ф. Пилипака</i>	101-105
14. Оптимізація механізму хитання радіально-поворотного конвеєра за рахунок зниження інерційних навантажень <i>О. В. Гаврюков, А. М. Кльон</i>	107-114
15. Динамічний розрахунок гвинтового конвеєра із запобіжною муфтою <i>О. М. Троханяк</i>	115-120
16. Чисельне моделювання як метод дослідження та вдосконалення бокової системи вентиляції в пташнику з традиційним розташуванням витяжних вентиляторів <i>В. І. Троханяк</i>	121-128
17. Методи оптимізації експлуатаційних витрат на автомобільному транспорті при міжнародних перевезеннях <i>С. І. Бондарєв</i>	129-133

Contents

1. Analysis of experimental studies of optimal control of tower crane trolley movement mechanism <i>V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, O. V. Stekhno</i>	5-12
2. Modelling of structure forming in structural steels <i>Ye. G. Aftandiliants</i>	13-22
3. Simulation of centroids of non-circular wheels with internal and external rolling from arcs of symmetrical curves <i>T. A. Kresan, S. F. Pylypaka, I. Yu. Grischenko, Ya. S. Kremets</i>	23-32
4. Research of mobile combined feed preparation unit <i>V. S. Khmelovskiy</i>	33-39
5. Influence of speed of dispenser movement of directed impact on accuracy of seeding of main technical crops <i>P. S. Popyk</i>	41-47
6. Business game as way to increase efficiency of educational process in study topics providing of first aid to victims in accidents <i>S. M. Holopura, P. O. Chmara</i>	49-56
7. Method of assessment of transportation competitiveness on the basis of a multiple vector model of transportation services quality indicators <i>O. M. Zagurskiy</i>	57-63
8. Research of influence of constructive and technological parameters of developed variants of screws with screw working bodies rabbit <i>M. B. Klendii, M. I. Klendii, R. V. Shatrov</i>	65-71
9. Approaches to optimization of functioning of cities by environmental criteria <i>O. M. Zagurskiy, A. M. Ohienko</i>	73-79
10. Research of hinged joint of screw sectional working body <i>I. I. Chvartatskiy, A. V. Grabar, R. V. Shatrov</i>	81-87
11. Discrete model of chain conveyor movement dynamics <i>M. M. Korobko</i>	89-94
12. Improvement of quality of work of seed treater bunker-dispenser <i>O. M. Vechera</i>	95-99
13. Research of particle movement on cylinder outer surface during its progressive oscillations in horizontal planes <i>T. M. Volina, S. F. Pylypaka</i>	101-105
14. Optimization of rotary conveyor swing mechanism by reducing inertial loads <i>O. V. Gavryukov, A. M. Klyon</i>	107-114
15. Dynamic calculation of screw conveyor of safety clutch <i>O. M. Trokhaniak</i>	115-120
16. Numerical simulation as method of research and improvement of side ventilation system in poultry house with traditional ranking of exhaust fans <i>V. I. Trokhaniak</i>	121-128
17. Optimization methods of operating costs on road transport in international transportation <i>S. I. Bondariev</i>	129-133
18. Biotechnology of co-fermentation of sugar by-products with typical agricultural substrates <i>Ye. O. Dvornik</i>	135-141

Guidelines for authors (2020)

The journal publishes the original research papers. The papers (min. 5 pages) should not exceed 16 pages including tables and figures. Acceptance of papers for publication is based on two independent reviews commissioned by the Editor.

Authors are asked to transfer to the Publisher the copyright of their articles as well as written permissions for re-production of figures and tables from unpublished or copyrighted materials.

Articles should be submitted electronically to the Editor and fulfill the following formal requirements:

- Clear and grammatically correct script in English,
- Format of popular Windows text editors (A4 size, 10 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2.0 cm),
- Every page of the paper including the title page, text, references, tables and figures should be numbered,
- SI units should be used.

Please organize the script in the following order (without subtitles):

Title, Author(s) name (s), Affiliations, Full postal addresses, Corresponding author's e-mail
Abstract (up to 200 words), Keywords (up to 5 words), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion (a combined Results and Discussion section can also be appropriate), Conclusions (numbered), References, Tables, Figures and their captions.

Note that the following should be observed:

An informative and concise title; Abstract without any undefined abbreviations or unspecified references; No no-menclature (all explanations placed in the text);

References cited by the numbered system (max 5 items in one place); Tables and figures (without frames) placed out of the text (after References) and figures additionally prepared in the graphical file format jpg or cdr.

Make sure that the tables do not exceed the printed area of the page. Number them according to their sequence in the text. References to all the tables must be in the text.

Do not use vertical lines to separate columns. Capitalize the word 'table' when used with a number, e.g. (Table 1).

Number the figures according to their sequence in the text. Identify them at the bottom of line drawings by their number and the name of the author. Special attention should be paid to the lettering of figures – the size of lettering must be big enough to allow reduction (even 10 times). Begin the description of figures with a capital letter and observe the following order, e.g. Time(s), Moisture (% vol), (% m³m⁻³ or (% gg⁻¹), Thermal conductivity (W m⁻¹K⁻¹).

Type the captions to all figures on a separate sheet at the end of the manuscript.

Give all the explanations in the figure caption. Drawn text in the figures should be kept to a minimum. Capitalize and abbreviate 'figure' when it is used with a number, e.g. (Fig. 1).

Colour figures will not be printed.

Make sure that the reference list contains about 30 items. It should be numbered serially and arranged al-phabeticly by name of first author and then others, e.g.

7. Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao. (2020). Quantitative evaluation of residual torque of a loose bolt based on wave energy dissipation and vibro-acoustic modulation: A comparative study. *Journal of Sound and Vibration*. 383. 156-170.

References cited in the text should be given in parentheses and include a number e.g. [7].

Any item in the References list that is not in English, French or German should be marked, e.g. (in Italian), (in Ukrainian).

Leave ample space around equations. Subscripts and superscripts have to be clear. Equations should be numbered serially on the right-hand side in parentheses. Capitalize and abbreviate 'equation' when it is used with a number, e.g. Eq. (1). Spell out when it begins a sentence. Symbols for physical quantities in formulae and in the text must be in italics. Algebraic symbols are printed in upright type.

Acknowledgements will be printed after a written permission is sent (by the regular post, on paper) from persons or heads of institutions mentioned by name.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Machinery & Energetics
Journal of Rural Production Research

since 2010 till 2018
[Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series:
Technique and Energy of APK]

Техніка та енергетика
Журнал наукових досліджень сільськогосподарського виробництва

з 2010 року до 2018 року
[Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України.
Серія: техніка та енергетика АПК]

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ВИПУСК 11

№ 4

Свідоцтво про державну реєстрацію
Серія КВ №23828 – 13668 ПР від 01.03.2019

Редактор І. Л. Роговський

03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15

Здано до набору 28.10.2020
Формат 60×84/16
Наклад 100 прим.

Підписано до друку 28.10.2020
Папір офсетний.
Зам. № 0993 від 28.10.2020

Редакційно-видавничий відділ НУБіП України
03041, Київ, пров. Сільськогосподарський, 4.
т. 527-80-49