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

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.202

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

№ 2

(April – June)

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 Viktoria 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. Stanisław 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, Novokonstantinovska Str. 4a, 04-080 Kyiv, Ukraine

Publishing Office address
AgroMediaGroup, Novokonstantinovska 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)

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.202

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

№ 2

(квітень – червень)

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. № 2. 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-Прилипко, 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. Заблодський, 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. Таширев, 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 № 8 від 30 квітня 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 Periodocals 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

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 5-13
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.005-013

УДК 621.87

КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ЗМІНИ ВИЛЬОТУ СТРІЛОВОЇ СИСТЕМИ КРАНА-МАНІПУЛЯТОРА

В. С. Ловейкін[1], Ю. О. Ромасевич[1], О. О. Сподоба[1], А. В. Ловейкін[2], С. А. Шворов[1]

[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
[2]Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: lovvs@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 16, рис. 7, табл. 0.

Анотація. У статті представлено метод вирішення проблеми усунення коливань вантажу на шарнірному підвісі під час одночасного переміщення двох ланок стрілової системи, а саме підйому рукояті та зменшення вильоту телескопічної секції. Суть методу полягає в оптимізації режиму одночасного переміщення двох ланок стрілової системи крана-маніпулятора при горизонтальному переміщені вантажу в період пуску.

За критерій оптимізації обрано комплексній інтегральний критерій, який є відносним середньоквадратичним значенням зусиль та потужностей в приводних гідроциліндрах. Розроблений критерій відображає небажані властивості ланок стрілової системи та механізмів приводу, тому його значення зводилися до мінімуму.

Оскільки критерій оптимізації є інтегральним функціоналом, то для його оптимізації використані методи варіаційного числення. Рішення варіаційної задачі оптимізації представлено у вигляді багато параметричних функцій, які задовольняють крайові умови руху та мінімізують комплексний безрозмірний критерій. Для цієї мети був використаний метод оптимізації рою частинок (ME-PSO). Це дало можливість отримати залежності оптимальних енергетичних та силових характеристик стрілової системи та механізмів приводу крана-маніпулятора. Отриманий в результаті оптимізації режим переміщення ланок стрілової системи покращив силові та енергетичні характеристики крана-маніпулятора, що дало можливість підвищити його надійність та продуктивність.

Ключові слова: кран-маніпулятор, оптимізація, динамічні навантаження, критерій, коливання вантажу.

Постановка проблеми

Під час зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора в елементах металоконструкції та приводних механізмах виникають значні динамічні навантаження, які знижують його надійність та продуктивність виконання навантажувальних та розвантажувальних операцій. Однією з основних причин виникнення динамічних навантажень є розгойдування вантажу закріпленого на шарнірному підвісі під час пуску приводних гідроциліндрів, яке, в свою чергу, суттєво залежить від характеру зміни рушійних зусиль в приводних гідроциліндрах [1]. Задача досліджень полягає в тому, щоб знайти такі закони зміни рушійних сил, при яких коливання вантажу на шарнірному підвісі були б мінімальними.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз літературних джерел [1–6] з динаміки руху маніпуляторів показує, що поставлена науково-технічна проблема вирішувалась і раніше, однак в повній мірі досягти усунення коливань вантажу не вдалося. В роботах [7–9] наведені результати останніх досліджень розробки та впровадження прикладних методів оптимізації, питань формалізації, класифікації та оцінки складності обчислювальних задач оптимізації. Підтверджено, що методи оптимізації можуть використовуватися для вирішення широкого кола прикладних проблем, що виникають у науці, техніці, біології, економіці, виробництві тощо. Оптимізація природними (біологічними) методами набуває широкого поширення в різних областях людської діяльності [8].

Одним із методів, який може бути застосований для вирішення проблеми оптимізації режиму руху стрілової системи крана-маніпулятора, є метод рою частинок (PSO) [9]. В роботі [10] автори проаналізували генетичний алгоритм PSO та нейрон-генетичний метод вирішення проблеми оптимізації. Метод PSO використовується для обчислення різних задач управління, розробки штучних нейронних мереж, сигналів процесу тощо [9–14].

В роботах [15, 16] запропоновано новий метод, заснований на технології оптимізації рою частинок. Основна ідея полягає у відновленні рою із низькою ефективністю інтелекту. Використання ройових технологій, методу PSO або інших подібних методів

та їх модифікацій дає можливість розробляти методи оптимізації режимів руху нелінійних механічних систем.

Поставлену задачу усунення коливань вантажу на шарнірному підвісі за рахунок вибору законів зміни рушійних зусиль в приводних гідроциліндрах крана-маніпулятора пропонується розв'язувати методами оптимізації з використанням PSO технологій.

Мета досліджень

Метою даних досліджень є усунення коливань вантажу на шарнірному підвісі шляхом оптимізації режиму зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора за одночасного кутового переміщення рукояті та лінійного переміщення телескопічної секції при горизонтальному переміщенні вантажу.

Результати досліджень

Для реалізації поставленої мети використано кран-маніпулятор, який складається зі стріли та рукояті з телескопічною секцією, до якої підвішений на шарнірному підвісі вантаж. В процесі зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора будемо вважати, що стріла є нерухомою, а вантаж змінює виліт тільки за рахунок підіймання рукояті та зменшення вильоту телескопічної секції. При цьому розглянемо випадок зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора, при якому вантаж переміщується по горизонталі. Такий режим зміни вильоту забезпечує значну економію енергетичних витрат приводних механізмів стрілової системи крана-маніпулятора. Досягається цей режим зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора шляхом узгодженої одночасної роботи механізмів повороту рукояті та переміщення телескопічної секції.

В цьому випадку кран-маніпулятор представляємо як голономну механічну систему. Вважаємо, що ланки стрілової системи є абсолютно твердими тілами, окрім шарнірного підвісу, на якому вантаж здійснює коливання в площині зміни вильоту. Динамічна модель такої системи має дві ступені вільності і представлена на рис. 1.

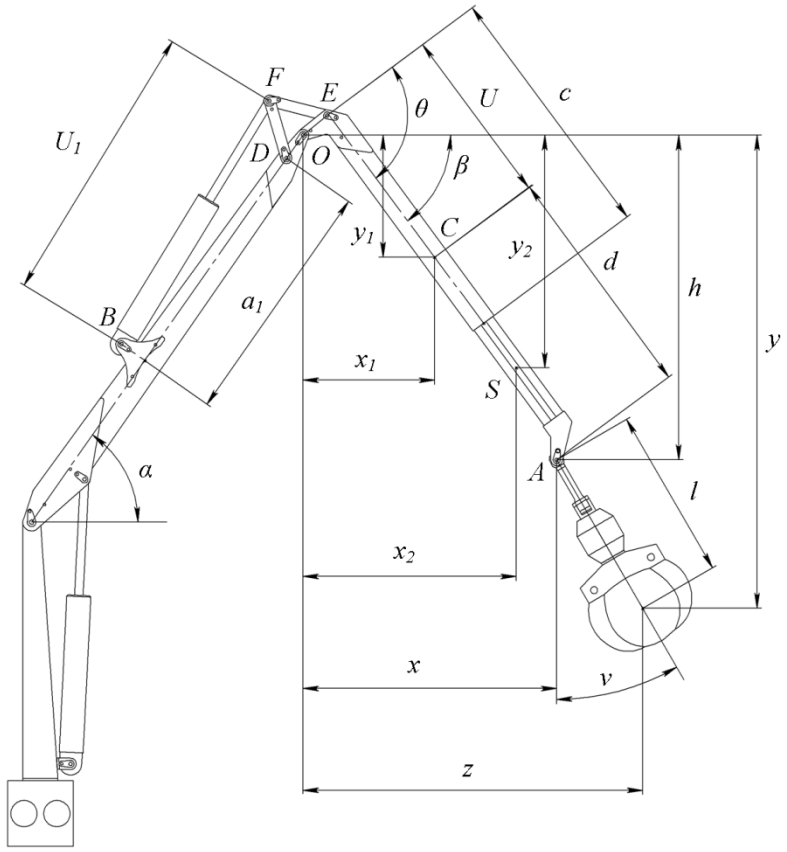


Рис. 1. Динамічна модель зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора.
Fig. 1. The dynamic model of change departure of boom system of the loader crane.

В динамічній моделі крана-маніпулятора наведеній на рис. 1 прийняті такі позначення: α - кут нахилу стріли до горизонту; a_1 - довжина між кріпленням привідного гідроциліндра керування рукояттю та важелем; c - довжина рукояті; d – довжина телескопічної секції; l – довжина шарнірного підвісу; θ - кут утворений геометричними параметрами стрілової системи крана-маніпулятора; β, ν - кутові координати повороту рукояті та відхилення вантажу від вертикалі; x_1, x_2, x, y_1, y_2, h - горизонтальні та

вертикальні координати центрів мас та кінцевих точок ланок стрілової системи крана-маніпулятора; z, y - горизонтальна та вертикальна координати центра мас вантажу; U_1, U - відповідно довжини гідроциліндрів рукояті та телескопічної секції.

За узагальнені координати прийнятої моделі використані лінійні координати центра мас вантажу z та горизонтальної координати точки A телескопічної секції рукояті x. При цьому вертикальна координата точки A телескопічної секції завжди залишається постійною, тобто $y_A = h = const$. Ця умова є кінематичною умовою, яка накладає додаткову в'язь на кран-маніпулятор в процесі зміни вильоту стрілової системи. Тому система з трьома ступенями вільності за рахунок кінематичної в'язі перетворилась в систему з двома ступенями вільності.

Для складання рівнянь руху зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора, представленого динамічною моделлю на рис. 1, використаємо рівняння Лагранжа другого роду:

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial T}{d\dot{x}} - \dfrac{\partial T}{dx} = Q_x - \dfrac{\partial \Pi}{dx}; \\ \dfrac{d}{dt}\dfrac{\partial T}{d\dot{z}} - \dfrac{\partial T}{dz} = -\dfrac{\partial \Pi}{dz}, \end{cases} \tag{1}$$

де: T, Π - відповідно кінетична та потенціальна енергія системи; Q_x - непотенціальна складова узагальненої сили, яка відповідає узагальненій координаті x.

Кінетична і потенціальна енергія системи визначаються наступними залежностями:

$$T = \frac{1}{2}(J_1 + J_2)\dot{\beta}^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{S}^2 + \frac{1}{2}m\dot{z}^2; \tag{2}$$

$$\Pi = (m_1 y_1 + m_2 y_2 + my)g, \tag{3}$$

де: J_1, J_2 - відповідно моменти інерції рукояті та телескопічної секції відносно осі її повороту; m_1, m_2, m - відповідно маси рукояті, телескопічної секції та вантажу; S - координата центра мас телескопічної секції рукояті в напрямку її висування; g - прискорення вільного падіння.

Непотенціальну складову узагальненої сили, що відповідає координаті x визначимо з умови рівності елементарних робіт:

$$Q_x \delta x = F_1 \cdot \delta U_1 + F \cdot \delta U, \tag{4}$$

де: F_1, F - відповідно зусилля в гідроциліндрах переміщення рукояті та телескопічної секції; $\delta U_1, \delta U$ елементарні переміщення штоків гідроциліндрів відповідно рукояті та телескопічної секції, які визначаються наступними залежностями:

$$\begin{aligned} \delta U_1 &= \frac{\partial U_1}{\partial x}\delta x; \\ \delta U &= \frac{\partial U}{\partial x}\delta x. \end{aligned} \tag{5}$$

Після підстановки виразів (5) в рівняння (4) отримаємо:

$$Q_x = F_1\frac{\partial U_1}{\partial x} + F\frac{\partial U}{\partial x}. \tag{6}$$

Взявши необхідні похідні від виразів (2) і (3) і підставивши їх в систему (1) з урахуванням залежностей $\dot{\beta} = \dot{x}\dfrac{\partial \beta}{\partial x}$; $\ddot{\beta} = \ddot{x}\dfrac{\partial \beta}{\partial x} + \dot{x}^2\dfrac{\partial^2 \beta}{\partial x^2}$; $\dot{S} = \dot{x}\dfrac{\partial S}{\partial x}$; $\ddot{S} = \ddot{x}\dfrac{\partial S}{\partial x} + \dot{x}^2\dfrac{\partial^2 S}{\partial x^2}$, отримаємо систему диференціальних рівнянь зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора з шарнірним підвісом вантажу:

$$\begin{cases} (J_1 + J_2)\cdot\left(\ddot{x}\dfrac{\partial \beta}{\partial x} + \dot{x}^2\dfrac{\partial^2 \beta}{\partial x^2}\right) + \dfrac{\partial \beta}{\partial x} + m_2\cdot\left(\ddot{x}\dfrac{\partial S}{\partial x} + \right. \\ \left. + \dot{x}^2\dfrac{\partial^2 S}{\partial x^2}\right)\cdot\dfrac{\partial S}{\partial x} = Q_x - \left(m_1\dfrac{\partial y_1}{\partial x} + m_2\dfrac{\partial y_2}{\partial x} + \right. \\ \left. + m\dfrac{x-z}{h}\right)\cdot g; \\ \ddot{z} = \dfrac{g}{h}(x - z). \end{cases} \tag{7}$$

Виразимо координати $\beta, S, y_1, y_2, y, U_1, U$ через узагальнені координати x і z та візьмемо їхні похідні по цих координатах:

$$\begin{aligned} S &= h\sqrt{1+\left(\frac{x}{h}\right)^2} - \frac{d}{2}; \quad \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{x}{h\sqrt{1+\left(\frac{x}{h}\right)^2}}; \\ \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} &= \frac{1}{h\left[1+\left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}; \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} \beta &= ArcTan\frac{x}{h}; \quad \frac{\partial \beta}{\partial x} = -\frac{1}{h\cdot\left[1+\left(\frac{x}{h}\right)^2\right]}; \\ \frac{\partial^2 \beta}{\partial x^2} &= \frac{2}{h^3}\frac{x}{h^3\cdot\left[1+\left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^2}; \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned} y &= h\left(1 - Cos\frac{x-z}{h}\right); \quad \frac{\partial y}{\partial x} = Sin\frac{x-z}{h}; \\ \frac{\partial y}{\partial z} &= -Sin\frac{x-z}{h}; \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{h\cdot c}{2\sqrt{h^2+x^2}}; \quad \frac{\partial y_1}{\partial x} = -\frac{c\cdot h}{2}\cdot\frac{x}{\left(h^2+x^2\right)^{\frac{3}{2}}}; \\ \frac{\partial^2 y_1}{\partial x^2} &= -\frac{c}{2\cdot h^2}\cdot\frac{1-2\cdot\left(\frac{x}{h}\right)^2}{\left[1+\left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}}; \end{aligned} \tag{11}$$

$$y_2 = h - \frac{d}{2\sqrt{1+\left(\frac{x}{h}\right)^2}};$$

$$\frac{\partial y_2}{\partial x} = \frac{d}{2h^2}\cdot\frac{x}{\left[1+\left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}};$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{d}{2\cdot h^2}\cdot\frac{1-2\cdot\left(\frac{x}{h}\right)^2}{\left[1+\left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}}; \quad (12)$$

(18)

$$U = h\sqrt{1+\left(\frac{x}{h}\right)^2} - d;\ \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{x}{h\cdot\sqrt{1+\left(\frac{x}{h}\right)^2}};$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = -\frac{1}{h\left[1+\left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}. \quad (13)$$

Координату U_1 знайдемо, виходячи з рис.1 з наступних залежностей:

$$U_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2 - 2a_1b_1Cos\angle BDF}; \quad (14)$$

де: $DF = b_1$ (Рис. 1).

Для визначення кута $\angle BDF$ розглянемо чотири ланковий механізм $ODFE$ (рис. 1) і визначимо діагональ DE:

$$DE = \sqrt{d_1^2 + e_1^2 - 2d_1e_1Cos\angle DOE}, \quad (15)$$

де: $DO = d_1$, $EO = e_1$, (Рис. 1).

Визначимо кут $\angle DOE$ (рис. 1):

$$\angle DOE = \pi + \alpha - \theta - \beta. \quad (16)$$

Підставивши вираз (16) в залежність (15), отримаємо:

$$DE = \sqrt{d_1^2 + e_1^2 - 2d_1e_1Cos(\beta + \theta - \alpha)}. \quad (17)$$

З теореми синусів маємо:

$$\frac{Sin\angle DOE}{DE} = \frac{Sin\angle ODE}{e_1}. \quad (18)$$

Звідки знаходимо:

$$Sin\angle ODE = \frac{e_1Sin(\beta + \theta - \alpha)}{\sqrt{d_1^2 + e_1^2 - 2d_1e_1Cos(\beta + \theta - \alpha)}}. \quad (19)$$

Тоді:

$$\angle ODE = ArcSin\frac{e_1Sin(\beta + \theta - \alpha)}{\sqrt{d_1^2 + e_1^2 - 2d_1e_1Cos(\beta + \theta - \alpha)}}. \quad (20)$$

Кут $\angle FDE$ знайдемо з виразу:

$$c_1^2 = b_1^2 + DE^2 - 2\cdot b_1\cdot DE\cdot Cos\angle FDE, \quad (21)$$

де: $FE = c_1$, (Рис. 1).

Звідки отримаємо:

$$Cos\angle FDE = \frac{DE^2 + b_1 - c_1^2}{2b_1DE}. \quad (22)$$

З останнього виразу маємо:

$$\angle FDE = ArcCos\frac{DE^2 + b_1 - c_1^2}{2b_1DE}. \quad (23)$$

Склавши вирази (20) та (23), знайдемо величину кута $\angle ODF$:

$$\angle ODF = \angle ODE + \angle FDE. \quad (24)$$

Знайдемо кут $\angle BDF$:

$$\angle BDF = \pi - \angle ODF. \quad (25)$$

Підставивши вираз (25) в залежність (14) будемо мати:

$$U_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2 - 2\cdot a_1\cdot b_1\cdot Cos\angle ODF}. \quad (26)$$

З останнього рівняння системи (7) знаходимо:

$$x = z + \frac{h}{g}\ddot{z}; \qquad \dot{x} = \dot{z} + \frac{h}{g}\dddot{z}; \qquad \ddot{x} = \ddot{z} + \frac{h}{g}z^{IV}. \quad (27)$$

Використавши вирази (27), замінимо систему рівнянь (7) одним диференціальним рівнянням, яке представимо в наступному вигляді:

$$\left(\ddot{z} + \frac{h}{g}z^{IV}\right)\left\{\left[(J_1 + J_2(U))\right]\left(\frac{\partial\beta}{\partial x}\right)^2 + m_2\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2\right\} + \left(\dot{z} + \frac{h}{g}\ddot{z}\right)^2\left\{\left[(J_1 + J_2(U))\right]\times\frac{\partial\beta}{\partial x}\frac{\partial^2\beta}{\partial x^2} + m_1\frac{\partial U}{\partial x}\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial J_2}{\partial U}\frac{\partial U}{\partial x}\left(\frac{\partial\beta}{\partial x}\right)^2\right\} + \left(m_1\frac{\partial y_1}{\partial x} + m_2\frac{\partial y_2}{\partial x}\right) + m\ddot{z} = Q_x. \quad (28)$$

За критерій оптимізації режиму зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора оберемо безрозмірній комплексний критерій, який враховує дію силових навантажень та потужність приводних механізмів і має вигляд:

$$K = \left\{\frac{1}{t_n}\int_0^{t_n}\left[\delta\cdot\left(\frac{Q_x}{\overline{F}}\right)^2 + (1-\delta)\cdot\left(\frac{Q_x\cdot\dot{x}}{\overline{P}}\right)^2\right]dt\right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (29)$$

де: t - час; t_n - тривалість процесу пуску маніпулятора; V - швидкість усталеного руху вантажу;. $\overline{F}, \overline{P}$ - мінімально можливі значення узагальненої сили та потужності приводних механізмів для переміщення вантажу; δ - ваговий коефіцієнт який враховує дію узагальненої сили.

Мінімально можливі значення узагальненої сили та потужності приводних механізмів визначаються з умови мінімуму середньоквадратичних значень функціоналів, що відображають тягове зусилля та потужність при горизонтальному переміщенні вантажу в процесі пуску і виражаються залежностями:

$$\overline{F} = \frac{mV}{t_n}; \qquad \overline{P} = \frac{mV^2}{2t_n}. \quad (30)$$

Отриманий критерій необхідно мінімізувати, оскільки він відображає витрати зведених рушійних

зусиль та потужностей приводних механізмів рукояті та телескопічної секції. Разом з тим, аналітично мінімізувати критерій (29) та вибрати закони зміни координати $z = z(t)$ та її похідних за часом не представляється можливим при крайових умовах процесу пуску маніпулятора:

$$\begin{cases} t = 0: \;\; x = z = z_0, \;\; \dot{x} = \dot{z} = 0; \\ t = t_n: \;\; x = z = \dfrac{Vt_n}{2}, \;\; \dot{x} = \dot{z} = V, \end{cases} \tag{31}$$

де: z_0 - початкове значення координати *z*.

Зведемо систему крайових умов (31) до координати *z* та її похідних за часом. Для цього використаємо залежності (27), в результаті чого отримаємо:

$$\begin{cases} t = 0: \;\; z = z_0, \;\; \dot{z} = 0, \;\; \ddot{z} = 0, \;\; \dddot{z} = 0; \\ t = t_n: \;\; z = z_0 + \dfrac{Vt_n}{2}, \;\; \dot{z} = V, \;\; \ddot{z} = 0, \;\; \dddot{z} = 0. \end{cases} \tag{32}$$

Для знаходження наближеного розв'язку оптимізаційної задачі (29), (32) використаємо підхід, сутність якого зводиться до задання класу багатопараметричних функцій, які б задовольняли крайові умови (32) та забезпечили б мінімум функціоналу (29). Клас багатопараметричних функцій, на яких будемо відшукувати наближений розв'язок оптимізаційної задачі, задається як розв'язок крайової задачі:

$$\begin{cases} L(z) = 0; \\ \begin{cases} t = 0: z = z_0, \dot{z} = 0, \;\; \ddot{z} = 0, \;\; \dddot{z} = 0; \\ t = \dfrac{t_n}{2}: z = z_{t_n/2}, \dot{z} = \dot{z}_{t_n/2}; \\ t = t_n: z = z_0 + \dfrac{Vt_n}{2}, \;\; \dot{z} = V, \;\; \ddot{z} = 0, \;\; \dddot{z} = 0, \end{cases} \end{cases} \tag{33}$$

де *L* - оператор, який діє на функцію *z*(*t*). Розв'язок крайової задачі (33) містить два невідомих параметра $z_{t_n/2}$ та $\dot{z}_{t_n/2}$. Оператор *L*(*z*) у рамках даного дослідження приймемо у вигляді диференціального рівняння десятого порядку $L(z) = \overset{X}{z}(t)$. Однак, у загальному випадку цей оператор може бути іншим. Його обґрунтування виходить за рамки даної роботи.

Розв'яжемо крайову задачу (33). Після цього сформуємо вираз функціонала (29):

$$Cr = Cr(z_{t_n/2}, \dot{z}_{t_n/2}, t_n), \tag{34}$$

який представляється нелінійною функцією своїх аргументів. Для ефективного відшукування таких значень $z_{t_n/2}$ та $\dot{z}_{t_n/2}$, на яких би функціонал (29) набував мінімуму, використано модифікацію метаевристичного методу рою часточок ME-PSO [15]. Його застосування не вимагає неперервності та диференційованості критерію (34) та не накладає на оптимізаційну задачу жорстких вимог. Як тільки вдалось побудувати функціональну залежність (34) можна використовувати метод ME-PSO та відшукувати оптимальні значення невідомих параметрів $z_{t_n/2}$ та $\dot{z}_{t_n/2}$. У роботі використані наступні параметри методу: прийнятна швидкість зменшення критерію $AR = 0{,}005$; кількість часточок (популяція рою) – 50; кількість ітерацій – 50 (рис. 2).

Вказані параметри дозволяють досить ефективно використовувати обчислювальні ресурси для знаходження розв'язку задачі.

Всі розрахунки проведено для стрілової системи крана-маніпулятора з параметрами: $m = 155кг$; $m_1 = 65кг$; $m_2 = 500кг$; $h = 1{,}9м$; $z_0 = 1{,}1м$; $V = 0{,}5м/с$; $a = 1{,}65м$; $b = 0{,}5м$; $c = 2{,}2м$; $d = 1{,}8м$; $t_0 = 0с$; $t_n = 1с$; $g = 9{,}81м/с^2$. У результаті використання методу було отримано такі значення: $z_{t_n/2} = 1{,}15м$ та $\dot{z}_{t_n/2} = 0{,}25м/с$.

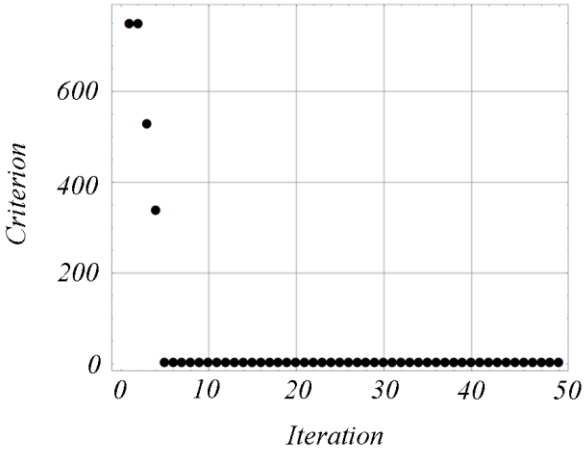


Рис. 2. Графік збіжності критерію до мінімуму.
Fig. 2. Graph of the criterion convergence to a minimum.

В результаті розв'язку поставленої оптимізаційної задачі вибору оптимального режиму руху стрілової системи крана-маніпулятора при горизонтальному переміщенні вантажу в процесі зміни вильоту побудовано графічні залежності фазового портрету відхилення (рис. 3), швидкості (рис. 4) та прискорення (рис. 5) вантажу, а також потужності (рис. 6) і узагальненої сили (рис. 7) приводних механізмів.

Аналізуючи фазовий портрет коливань вантажу на шарнірному підвісі (рис. 3) можна зазначити наступне. В процесі пуску стрілової системи крана-маніпулятора при горизонтальному переміщенні вантажу за оптимальним режимом, виникають незначні кутові відхилення вантажу від вертикалі, які при виході на усталеній рух мають затухаючий характер. Максимальне значення відхилення вантажу становить $-0{,}14м$, а максимальне значення швидкості відхилення дорівнює $-0{,}28м/с$.

Розглядаючи графічну залежність швидкості переміщення вантажу за оптимальним режимом (рис. 4) можна зазначити, що швидкість, як на початку так і в кінці пуску змінюється плавно. При цьому коливання швидкості відсутні. Вихід на усталеній рух відбувається за s-подібним законом руху. За оптимальним режимом переміщення стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем, швидкість усталеного

руху становить $0{,}5 м/с$, а вихід на усталений рух триває $t = 1{,}8 c$.

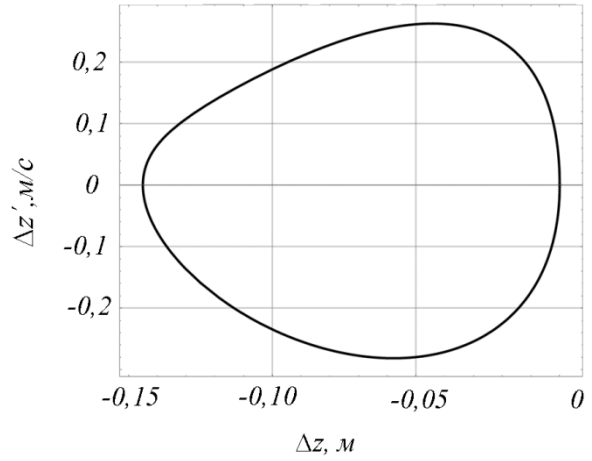


Рис. 3. Фазовий портрет відхилення вантажу.
Fig. 3. Phase portrait of load deflection.

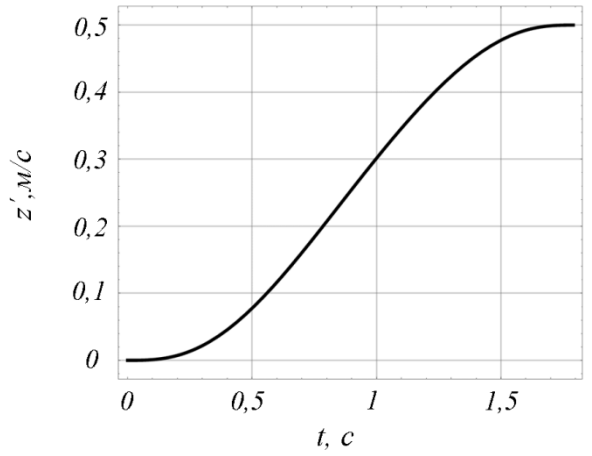


Рис. 4. Графічна залежність швидкості переміщення вантажу.
Fig. 4. Graph dependence the speed of movement the load.

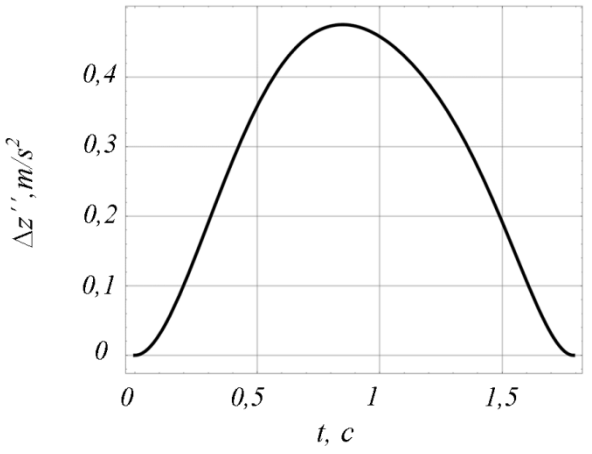


Рис. 5. Графічна залежність прискорення переміщення вантажу.
Fig. 5. Graph dependence of acceleration of the load.

Проводячи аналіз графічної залежності прискорення переміщення вантажу (рис. 5), який закріплений на шарнірному підвісі, було встановлено, що при оптимальному режимі переміщення пікове значення прискорення становить $0{,}47 м/с^2$ в момент часу $t = 0{,}8 c$. При подальшому переміщенні вантажу значення прискорення зменшується і при виході на усталений рух, в момент часу $t = 1{,}8 c$, дорівнює нулю.

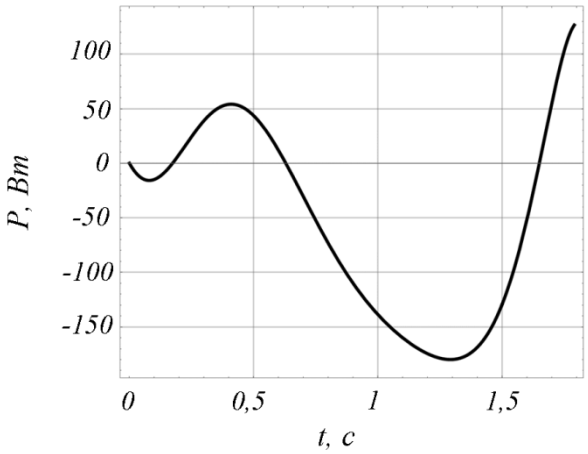


Рис. 6. Графічна залежність затраченої потужності для переміщення вантажу.
Fig. 6. Graph dependence of the power consumed to move the load.

Проаналізувавши графічну залежність затраченої потужності для переміщення вантажу (рис. 6) зроблено такий висновок. В початковий момент руху стрілової системи крана-маніпулятора відбувається зменшення потужності до $-15 Bm$, при $t = 0{,}1 c$, що зумовлено гравітаційною складовою. В момент часу $t = 0{,}4 c$ потужність зростає до значення $55 Bm$, після чого виникає її спад до значення $-180 Bm$. Це спричинено інерційною складовою елементів металоконструкції стрілової системи та коливаннями вантажу закріпленого на шарнірному підвісі в напрямку переміщення гідравлічних циліндрів. В подальшому потужність зростає і при виході на усталений рух становить $140 Bm$.

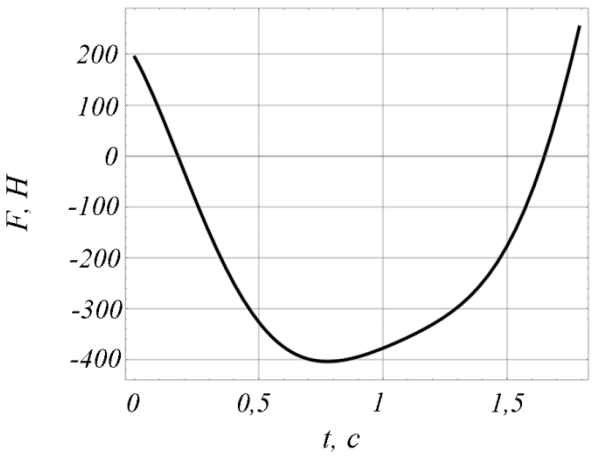


Рис. 7. Графічна залежність узагальненої сили.
Fig. 7. Graph dependence of the generalized force.

Аналізуючи графічну залежність узагальненої сили, що розвивають приводні гідроциліндри (рис. 7) можна зазначити, що на початку руху рушійне зусилля становить $200H$. При подальшому переміщені стрілової системи з вантажем зусилля має спадаючий характер. При цьому мінімальне значення зусилля становить $-400H$ в момент часу $t = 0{,}8c$, що відповідає максимальному значенню прискорення (рис. 5). Відповідно це явище пояснюється виникненням інерційної складової елементів металоконструкції стрілової системи крана-маніпулятора та коливаннями вантажу, закріпленого на шарнірному підвісі, та відповідно збільшенням прискорення (рис. 5). В подальшому значення зусилля зростає і при виході на усталений рух становить $230H$.

Висновки

1. В результаті проведеного дослідження розв'язано задачу оптимізації режиму руху з метою зменшення коливань вантажу на шарнірному підвісі за одночасного переміщення двох ланок стрілової системи крана-маніпулятора. Обґрунтовано комплексний безрозмірний інтегральний динамічний критерій оптимізації, який являє собою середньоквадратичне значення узагальненої сили та потужності приводних механізмів і представлений у вигляді нелінійного інтегрального функціоналу. Отриманий критерій відображає небажані властивості стрілової системи, тому його значення було мінімізоване.

2. Для вирішення поставленої задачі шукані неперервні функції $z(t)$ були замінені багато параметричними функціями. Вони були отримані як вхідний алгоритм ME-PSO для критеріїв (29) і (34). Такі результати були забезпечені стратегією пошуку глобального екстремуму роєм частинок та переініціалізацією рою в разі його застою.

3. Отриманий оптимальний режим переміщення стрілової системи крана-маніпулятора дозволив мінімізувати динамічні навантаження в приводних механізмах та металоконструкції стрілової системи крана-маніпулятора, а також зменшити енергетичні витрати. При отриманих режимах переміщення стрілової системи досягається усунення коливань шарнірно закріпленого вантажу на кінці стрілової системи. Даний ефект дає можливість підвищити продуктивність та зменшити енергетичні витрати крана-маніпулятора в процесі зміни вильоту вантажу.

Список літератури

1. *Ловейкін В.С. Ромасевич Ю.О. Сподоба О.О.* Математична модель динаміки зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора з вантажем при суміщені рухів Machinery & Energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukrain. 2019. vol, 10. No 1. P. 141-149. DOI: 10.31548/machenergy.2019.01.141-149.

2. *Mischuk D.* Research dynamics of the boom manipulator mounted on elastic resistance Underwater technologies. Industrial and civil engineering. 2018. No 8 P. 54-56. DOI: 10.26884/uwt1808.1301.

3. *Gulianitsky L., Mulessa O.* Applied methods of combinatorial optimization: teach. manual Kyiv. Publishing and printing center "Kyiv University". 2016. 142 p.

4. *Ковальский В.Ф.* Математическое моделирование динамики манипуляционной системы мобильной транспортно-технологической машины с учетом упругости звеньев. Известия МАМИ. 2016. №3. С. 9-15.

5. *Мильто А.А*. Динамический и прочностной анализ гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных транспортно-технологических машин: дисс. канд. техн. наук: Москва. МАДГТУ (МАДИ), 2016. 172 с.

6. *Бакай Б.Я.* Попереднє представлення рівняння динаміки маніпулятора методом Лагранжа-Ейлера. Науковий вісник НЛТУ України: Львів. Видавництво НЛТУ України, 2011. Вип. 21.18. С. 322–327.

7. *Bozorg-Haddad O., Solgi M., Loáiciga H.* Meta-Heuristic and Evolutionary Algorithms for Engineering Optimization. Hoboke, USA, John Wiley & Sons Inc, 2017. 304 p.

8. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 2019. Vol. 95. Issue 3. P. 108–118. WoS. DOI 10.31489/2019M2/108-119.

9. *Dubrovka F., Vasilenko D.* Constructive synthesis of planar antennas using natural optimization algorithms. Izvestiya high schools, Radio electronics. 2009. No. 4. P. 3-22.

10. *Kiranyaz S, Ince T., Yildirim A., Gabbouj M.* Evolutionary Artificial Neural Networks by Multi-Dimensional Particle Swarm Optimization. Neural Networks. 2009. Vol. 22. Issue 10. P. 1448-1462. DOI: 10.1016/j.neunet.2009.05.013.

11. *Heo J., Lee K., Garduno-Ramirez R.* Multiobjective Control of Power Plants Using Particle Swarm Optimization Techniques. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2006. Vol. 21. Issue 10. P. 552-561. DOI: 10.1109/TEC.2005.858078.

12. *Zamani M., Karimi-Ghartemani M., Sadati N., Parniani M.* Design of a Fractional Order PID Controller for an AVR Using Particle Swarm Optimization. Control Engineering Practice. 2009. Vol. 17. P. 1380-1387. DOI: 10.1016/j.conengprac.2009.07.005.

13. *Chander A., Chatterjee A., Siarry P.* A New Social and Momentum Component Adaptive PSO Algorithm for Image Segmentation. Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38. Issue 5. P. 4998-5004. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.09.151.

14. *Romasevych Y., Loveikin V.* A Novel Multi-Epoch Particle Swarm Optimization Technique. Cybernetics and Information Technologies, Bulgarian Academy of Sciences. 2018. Vol. 18(3). P. 62-74. DOI: 10.2478/cait-2018-0039. Scopus.

15. *Loveikin V., Romasevych Y., Kadykalo I., Liashko A.* Optimization of the swinging mode of the boom crane upon a complex integral criterion. Journal of

Theoretical and Applied Mechanics. 2019. Vol. 49. Issue 3. P. 285-296. Scopus.

16. *Loveikin V., Romasevich Y., Khoroshun A., Shevchuk A.* Time-Optimal Control of a Simple Pendulum with a Movable Pivot, Part 1, International Applied Mechanics. 2018. Vol. 54(3). P. 358-365. DOI: 10.1007/s10778-018-0887-x. Scopus.

References

1. *Loveikin V., Romasevich Y, Spodoba O.* (2019). Mathematical model of the dynamics varying the radius jib system loader crane with a load at adjustment movement. Machinery & Energetics. Journal of Production Research Vol. 10. No 1. 141-149. DOI: 10.31548/machenergy.2019.01.141-149.

2. *Mischuk D.* (2018). Research dynamics of the boom manipulator mounted on elastic resistance Underwater technologies. Industrial and civil engineering. No 8. 54-56. DOI: 10.26884/uwt1808.1301.

3. *Gulianitsky L., Mulessa O.* (2016). Applied methods of combinatorial optimization: teach. manual Kiev. Publishing and printing center "Kyiv University". 142.

4. *Kovalsky V.F.* (2016). Mathematical modeling of the dynamics of the handling system of a mobile transport-technological machine, taking into account the elasticity of the links. MAMI, №3, 9-15.

5. *Milto A.A.* (2016). Dynamic and strength analysis of hydraulic crane-manipulators of mobile transport-technological machines (Unpublished candidate thesis). Moscow.

6. *Bakai B.Ya*. (2011). The previous presentation of the dynamic of the manipulator by the Lagrange-Euler method. Vidavnitstvo NLTU Ukraine, 322-327. Lviv.

7. *Bozorg-Haddad O., Solgi M., Loáiciga H.* (2017). Meta-Heuristic and Evolutionary Algorithms for Engineering Optimization. Hoboke, USA, John Wiley & Sons Inc, 304.

8. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* (2019). Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. Vol. 95. Issue 3. 108–118. WoS. DOI 10.31489/2019M2/108-119. WoS.

9. *Dubrovka F., Vasilenko D.* (2009). Constructive synthesis of planar antennas using natural optimization algorithms. Izvestiya high schools, Radio electronics. No. 4. 3-22.

10. *Kiranyaz S., Ince T., Yildirim A., Gabbouj M.* (2009). Evolutionary Artificial Neural Networks by Multi-Dimensional Particle Swarm Optimization. Neural Networks. Vol. 22. Issue 10. 1448-1462. DOI: 10.1016/j.neunet.2009.05.013.

11. *Heo J., Lee K., Garduno-Ramirez R.* (2006). Multiobjective Control of Power Plants Using Particle Swarm Optimization Techniques. IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 21. Issue 10. 552-561. DOI: 10.1109/TEC.2005.858078.

12. *Zamani M., Karimi-Ghartemani M., Sadati N., Parniani M.* (2009). Design of a Fractional Order PID Controller for an AVR Using Particle Swarm Optimization. Control Engineering Practice. Vol. 17. 1380-1387. DOI: 10.1016/j.conengprac.2009.07.005.

13. *Chander A., Chatterjee A., Siarry P.* (2011). A New Social and Momentum Component Adaptive PSO Algorithm for Image Segmentation. Expert Systems with Applications. Vol. 38. Issue 5. 4998-5004. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.09.151.

14. *Romasevych Y., Loveikin V.* (2018). A Novel Multi-Epoch Particle Swarm Optimization Technique. Cybernetics and Information Technologies, Bulgarian Academy of Science. Vol. 18(3). 62-74. DOI: 10.2478/cait-2018-0039. Scopus.

15. *Loveikin V., Romasevych Y., Kadykalo I., Liashko A.* (2019). Optimization of the swinging mode of the boom crane upon a complex integral criterion. Journal of Theoretical and Applied Mechanics. Vol. 49. Issue 3. 285-296. Scopus.

16. *Loveikin V., Romasevich Y., Khoroshun A., Shevchuk A.* (2018). Time-Optimal Control of a Simple Pendulum with a Movable Pivot. Part 1. International Applied Mechanics. Vol. 54(3). 358-365. DOI: 10.1007/s10778-018-0887-x. Scopus.

КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА СТРЕЛОВОЙ СИСТЕМЫ КРАНА-МАНИПУЛЯТОРА

В. С. Ловейкин, Ю. А. Ромасевич, А. А. Сподоба, А. В. Ловейкін, С. А. Шворов

Аннотация. В статье представлено метод решения проблемы, устранения колебаний груза на шарнирном подвесе во время одновременного перемещения двух элементов стреловой системы, а именно подъема рукояти и уменьшения вылета телескопической секции. Суть метода основана на оптимизации режима одновременного перемещения двух элементов стреловой системы крана-манипулятора при горизонтальном перемещении груза в период пуска.

В качестве критерия оптимизации выбрано комплексный интегральный критерий, который является относительным среднеквадратическим значением усилий и мощностей в приводных гидравлических цилиндрах. Разработанный критерий отображает нежелательные свойства элементов стреловой системы и механизмов привода, поэтому его значения сводиться к минимуму.

Поскольку критерий оптимизации является интегральным функционалом, то для его оптимизации использованы методы вариационного исчисления. Решение вариационной задачи оптимизации представлено в виде много параметрических функций, которые удовлетворяют краевые условия движения и минимизируют комплексный безразмерный критерий. С этой целью был использован метод оптимизации роя частиц (ME-PSO). Это дало возможность получить зависимости оптимальных, энергетических и силовых характеристик стреловой системы и механизмов привода крана-манипулятора. Полученный в результате оптимизации режим перемещения элементов стреловой системы улучшил силовые и энергетические характеристики крана-манипулятора,

что дало возможность увеличить его надежность и продуктивность.

Ключевые слова: кран-манипулятор, оптимизация, динамические нагрузки, критерий, колебания груза.

COMPREHENSIVE OPTIMIZATION OF MODE OF DEPARTURE OF BOOM SYSTEM OF LOADER CRANE

V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevich, O. O. Spodoba, A. V. Loveikin, S. A. Shvorov

Abstract. The article presents a method for solving the problem, eliminating the oscillations of the load on the knuckle join suspension the simultaneous movement of two elements of the boom system, namely, lifting the jib and movement the telescopic section. The essence of the method is based on the optimization of the regime of simultaneous movement of two elements of the boom system of the loader crane during horizontal movement of the load during the start-up period.

As an optimization criterion, a complex integral criterion was selected, which is a relative root-mean-square value of forces and powers in hydraulic drive cylinders. The developed criterion displays the undesirable properties of the boom system elements and drives mechanism, therefore, its values are minimized.

Since the optimization criterion is an integral functional, variational calculus method are used to optimize it. The solution of the variational optimization problem is presented in the form of many parametric functions that satisfy the boundary conditions of motion and minimize the complex dimensionless criterion. For this purpose, the particle swarm optimization method (ME-PSO) was used. This made it possible to obtain the dependences of the optimal, energy and forces characteristics of the boom system and the drive mechanisms of the crane. The mode of movement of the boom system elements obtained as a result of optimization improved the forces and energy characteristics of the loader crane, which made it possible to increase its reliability and productivity.

Key words: loader crane, optimization, dynamic loads, criterion, load fluctuations.

В. С. Ловейкін ORCID 0000-0003-4259-3900.
Ю. О. Ромасевич ORCID 0000-0001-5069-5929.
О. О. Сподоба ORCID 0000-0001-8217-866X.
А. В. Ловейкін ORCID 0000-0002-7988-8350.
С. А. Шворов ORCID 0000-0003-3358-1297.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 15-20
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.015-020

УДК 621:664: 669.01(075)

MODELLING OF PHASE TRANSFORMATIONS IN STRUCTURAL STEELS

Ye. G. Aftandiliants

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Ukraine.

Speciality of article: 131 – applied mechanics.

Corresponding author: aftyev@yahoo.com.

Article history: Received – January 2020, Accepted – April 2020.
Bibl. 5, fig. 5, tabl. 0.

Abstract. An analytical dependence of the influence of alloying elements on the equilibrium temperature of vanadium nitride in austenite is established for the main alloying elements based on an analysis of state diagrams, which describe an actual process with an error of 0.9%.

As a result of the process analysis is theoretically justified and experimentally confirmed that the precipitation of the secondary phases from the supersaturated solution kinetics is controlled by the thermodynamic activity, diffusion mobility and solubility of the components forming the secondary phase in the solid solution, the deviation degree of the system from the equilibrium state, where the equilibrium state is the formation temperature and dissolution of the secondary phase.

The established quantitative regularity shows that the precipitation kinetics of the vanadium nitrides in austenite with a probability of 99.9% and an error of 7.1% is reliably described by the thermodynamic activity of nitrogen and vanadium, the deviation degree of the system from the equilibrium state, and the process time. In this case, the correlation coefficient between experimental and theoretical data is 0.915.

An analysis of the obtained analytical equations shows that the influence of the chemical composition on the content of the carbide and nitride-vanadium phases in the solid solution is significant. The elements are arranged according to the degree of increasing influence in the following sequence: the content of vanadium nitrides in austenite increases Si and decreases Mn, C, Cr.

As a result of studying the process of converting austenite to ferrite and perlite, martensite, and bainite, it was found that the nonequilibrium critical points of phase transformations are controlled by the equilibrium temperature of austenite and ferrite, the content of secondary phases in them, the diffusion mobility of carbon in austenite, the degree of alloying, and the grain size of austenite and in the case of diffusion transformations by the heating and cooling rate. Quantitative influence laws are determined, which describe the real process with a probability of 95% and an error from 2.3% to 7.1%.

Key words: structural steel, chemical composition, heat treatment, austenite, ferrite, perlite, martensite, bainite, phase transformations.

Introduction

The structure formation of structural low- and medium-alloyed steels can be carried out by diffusion pearlitic, diffusionless martensitic, mixed bainitic transformations and decomposition of a supersaturated solid solution. Quantitative transformation characteristics are determined by the laws of nucleation of new phase centers and their growth.

Formulation of problem

It is necessary to study the effect of alloying on the thermodynamic and kinetic parameters of the dissolution and precipitation of secondary phases in austenite and the austenite transformation to perlite, martensite and bainite for solve this problem.

Analysis of recent research results

Alloying elements and modifiers can affect the change to the ferrite center nucleation rate of during pearlite transformation and the perlite growth rate [1, 2].

This occurs as a result of changes of the austenite stability to super cooling, the specific energy of the interface, the activation energy of diffusion, and the degree of imperfection of the matrix crystal structure.

In case of the martensitic transformation, the influence of alloying elements and modifiers on the rate of nucleation of martensite centers is associated with changes of the austenite stability to supercooling, its chemical and structural homogeneity, mainly [3-5].

Bainitic transformation occurs in the temperature range of low diffusion coefficients, the rate of nucleation and growth of perlite. Partial carbon redistribution occurs in austenite, diffusionless $\gamma \rightarrow \alpha_m$ transformation and precipitation of the carbide phase under these temperature conditions. Alloying elements insignificantly affect to the activation energy of crystal growth of the α_b - phase, but alloying elements have a significant effect to the bainitic transformation rate.

The kinetics of the solid solution decomposition of a martensitic and bainitic structure, the secondary phase dispersion and interparticle distances depend with the temperature and the influence of alloying and modifying elements to the crystal lattice of a stable phase, the element chemical affinity and their diffusion mobility.

Alloying elements affect the change of parameters such as austenite grain size, its resistance to supercooling, element chemical interaction, their solubility and diffusion mobility in a solid solution, and the defective crystal structure of the matrix.

A lot of research is devoted to the study of the influence of alloying elements, modifiers and impurities on the structure formation process [1-3]. However, the bulk of research covers dual and triple alloying systems. This eliminates the quantitative analytical forecasting of the influence of alloying elements, modifiers and impurities on the structure formation process and structure characteristics in multicomponent industrial structural steels.

The complex formation of a favorable ratio of a high level of strength and plastic steel properties with a minimum consumption of alloying elements can be achieved only when the regimes of its modification and heat treatment will ensure dispersion of all structural elements at all stages of casting formation.

Purpose of research

The article presents a method for solving the problem of eliminating the oscillations of the load on the articulated suspension during the simultaneous movement of the two links of the boom system, namely the lifting of the handle and reducing the departure of the telescopic section.

Results of research

The formation of microstructural features in steels, containing 0.2 to 0.4 wt.% carbon; 1 to 3% silicon, manganese and chromium; 0.005-0.035% nitrogen, up to 30% of vanadium are predicted according to the following scheme. The equilibrium content of nitrogen and vanadium, in a solid solution during the austenization is determined by their solubility, the latter depends on the chemical composition of steel and the heat treatment temperature. Using general principles of phases equilibrium in a ternary phase diagrams, the unknown parameters of interaction of alloying elements in austenite, the austenization temperatures, t_{VN} is given by the following relationship:

$$t_{VN} = \frac{(-9473 + 2436[\mathrm{V}] + 8950[\mathrm{N}] + 932[\mathrm{C}] + }{(\lg[\mathrm{V}] + \lg[\mathrm{N}] - 3.97 + 1.5[\mathrm{V}] + 5.44[\mathrm{N}] + } \\ \frac{+160[\mathrm{Mn}] - 67[\mathrm{Si}] + 419[\mathrm{Cr}] + 1610[\mathrm{Al}] - }{+0.06[\mathrm{Si}] + 0.13[\mathrm{Cr}] + 0.06[\mathrm{Mn}] + 0.83[\mathrm{Al}] + } \\ \frac{-535[\mathrm{Ni}] + 411[\mathrm{Ce}] + 2659[\mathrm{Mo}])}{+0.2[\mathrm{Ca}] + 0.41[\mathrm{C}] - 0.03[\mathrm{Ni}] + 1.45[\mathrm{Mo}])}, \quad (1)$$

Steel 20KhGSAFL taking as the base. It was determined the effectiveness of the influence of elements on the change in the equilibrium temperature of dissolution (formation) of vanadium nitrides (Fig. 1).

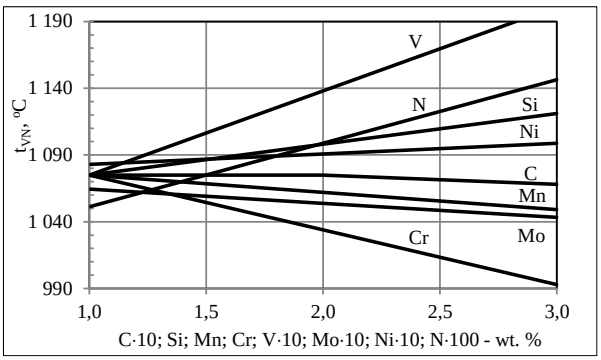


Fig. 1. The influence of element contents on the equilibrium temperature of dissolution (formation) of vanadium nitrides.

It can be seen that Si, V, N, Ni increase, and C, Mn, Cr, Ce, Al, Mo, decrease the equilibrium temperature of vanadium nitride dissolution (formation).

It is revealed that at the austenization temperature of the structural steel, the approximation of anomalous phase equilibrium is valid. Phase analysis shows that at the $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation significant change in the solubility limit of nitrogen and vanadium and in the diffusion mobility occurs.

The base is - steel containing (wt.%) 0.2C, 1Si, 1Mn, lCr, 0.015N, 0.1V.

As a result the content of nitrogen and vanadium in the solid solution to exceeds its equilibrium value up to 1100 °C. As a result during austenization vanadium nitride precipitates instead of the dissolution of the respective elements. It is established experimentally, that kinetics of this process is determined by the influence of alloying elements on the coefficients of thermodynamic activity of nitrogen (f_N) and vanadium (f_V). The other influencing factors are the difference of the austenization temperature from the equilibrium temperature of vanadium nitrides in austenite (Δt) and the time of the process (τ)

$$q_{VNa} = (3.63 + 0.0556 \cdot \tau - 4.36 \cdot (f_N) \cdot (f_V) + +0.176 \cdot \Delta t) \cdot q_{st} /100,$$

$R = 0.915$; $\delta = 7.1\%$; $F_p = 11.3 > F_T = 3.7$,(2)

where q_{VNa}, q_{st} is the content of vanadium nitrides in weight fraction in austenite and its stoichiometric value in the steel, respectively; R- is the multiple correlation coefficient; δ - the average relative error of approximation; F_p, F_T are the estimated and tabulated values of the Fischer's criterion.

The experimental results and calculations show that the vanadium nitrides quantity in austenite depends from the alloying element content in steel, temperature and austenitization time (Fig. 2).

It can be seen that silicon increases, and manganese, carbon, and chromium decrease the vanadium nitrides quantity in austenite. It should be noted that the vanadium nitrides quantity in austenite increases with increasing austenitization time.

The influence of the alloying elements is essentially distinguished not only by their values but also by their "sign". In this case the influence is multivariant-not only the equilibrium solubility is changed, but the solubility at the $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation and the rate at which the system approaches to the equilibrium state are changed as well. To

find the required content of nitrogen in a solid solution for stabilization and nitrogen content in the nitride phase at the austenization a study was conducted. The study discussed the influence of chemical composition, nitride phase content and temperature upon the austenite grain stabilization. The effect of chemical composition, nitride and carbide phase content, austenite grain size and cooling rate on the thermokinetic parameters of ferrito-pearlite, bainite and martensite transformations are discussed. The influence of above-mentioned factors on secondary structure characteristics and properties of steel were also investigated.

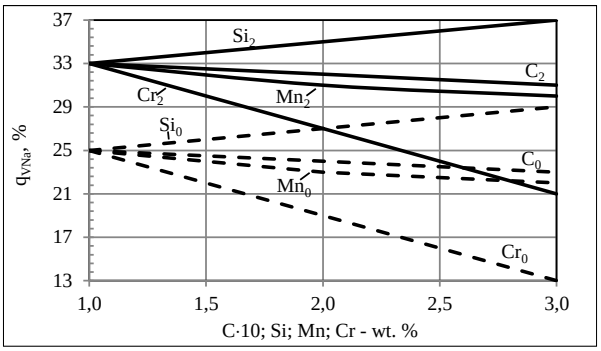


Fig. 2. The influence of element contents on the vanadium nitrides quantity in austenite.

The base is - steel containing (wt.%) 0.2C, 1Si, 1Mn, lCr, 0.015N, 0.1V.

Indexes 0 and 2 - the initial moment of austenitization and after 2 hours exposure, respectively.

The statistical analysis of dilatometry results of steels, containing up to 0.4% C, 3% of Si, Mn, Cr each, 0.03% N and 0.2% V at cooling rates, (V_{cool}) within 20-40 °C/minutes were studied. The relationship below established dependencies of the start temperatures, t_{ar3}, finishing temperature, t_{ar1}, and the duration of diffusion dissolution, τ, of austenite phase:

$$t_{ar3}=1220 - 208.3\cdot C + 66\cdot Si - 174.7\cdot Mn - 36.72\cdot Cr + 51\cdot V_a - 10610\cdot N_a - 3.39\cdot V_{cool} + 82\cdot q_{VNa} - 2.34\cdot D_{aust} - 0.1436\cdot t_r, \quad (3)$$

R = 0.933; δ= 2.3%; $F_c = 24.2 > F_T = 2.4$;

$$t_{ar1}=1030 - 117.5\cdot C + 72.06\cdot Si - 192.2\cdot Mn - 47.14\cdot Cr - 654\cdot V_a - 3472\cdot N_a - 2.94\cdot V_{cool} + 916\cdot q_{VNa} - 2.827\cdot D_{aust} - 0.0293\cdot t_r, \quad (4)$$

R = 0.924; δ = 2.7%; $F_c = 21 > F_T = 2.4$;

$$\tau = -7.55 + 0.75\cdot C - 3.71\cdot Si + 4.06\cdot Mn + 0.46\cdot Cr + 79.4\cdot V_a - 607.6\cdot N_a - 0.041\cdot V_{cool} - 101.7\cdot q_{VNa} + 0.086\cdot D_{aust} + 0.01\cdot t_r, \quad (5)$$

R = 0.883; δ = 14.4%; $F_c = 12.42 > F, 0.05 = 2.4$

where: C, Si, Mn, Cr, V_a, N_a, q_{VNa} are the content of carbon, manganese, silicon, chromium, vanadium, nitrogen and vanadium nitride phase in austenite in wt.%, respectively; D_{aust} - the size of austenite grain, μm; t_r - the temperature balance of austenite and ferrite, °C.

As it follows from equations (3)-(5) the complex optimization of the vanadium, nitrogen contents and the austenitization temperature regime is one of the necessary conditions for dispersion of the ferrite - pearlitic structure of carbon and low-alloy steels containing nitrogen and vanadium.

The influence of element contents on the start and finishing temperatures and the duration of diffusion dissolution of austenite phase is shown in Fig. 3.

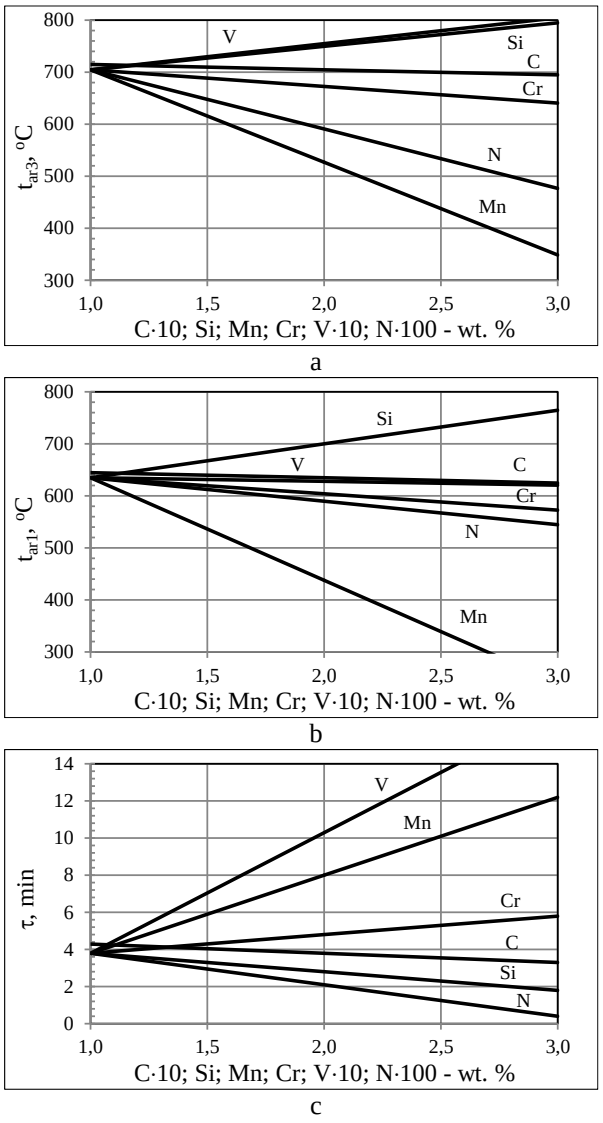


Fig. 3. The influence of element contents on the start (a) and finishing (b) temperatures and the duration of diffusion dissolution (c) of austenite phase.

The base is - steel containing (wt.%) 0.2C, 1Si, 1Mn, lCr, 0.01N, 0.1V.

The data given in fig. 3 show that increasing the carbon, chromium, nitrogen and manganese content in the steel leads to a decrease of start temperature decomposition of austenite into ferrite and pearlite (Fig. 3a) and of silicon and vanadium - to its growth.

Elements effect on the end temperature of ferrite-pearlite transformation (Fig. 3b) according to another regularity. Carbon has almost no effect, chromium, nitrogen and manganese are lowered, silicon is increased, and vanadium has an ambiguous effect on the position of the t_{ar1} point. Such an effect of the elements can be explained by their change of the ratio of the thermodynamic and kinetic factors of the process, which characterize the rate of nucleation and growth of new phases during the diffusion decomposition of austenite.

A austenite diffusion decomposition time changing of correlates with a changing of the carbon thermodynamic

activity by chemical elements. The transformation time is increased by elements that lower the carbon activity, and decrease elements that increase the carbon activity. This indicates that the process kinetics of the austenite transformation to ferrite and perlite is determined by the thermodynamic activity of carbon and the development of the process of carbide formation, mainly. Chrome, manganese and vanadium increase, and nitrogen, silicon and carbon decrease the conversion time as a result (Fig. 3 c)

The influence of the above considered factors, the martensite start temperatures, t_{sm} and bainite start temperature, t_{sb}, is also equally important. The following dependencies have been established:

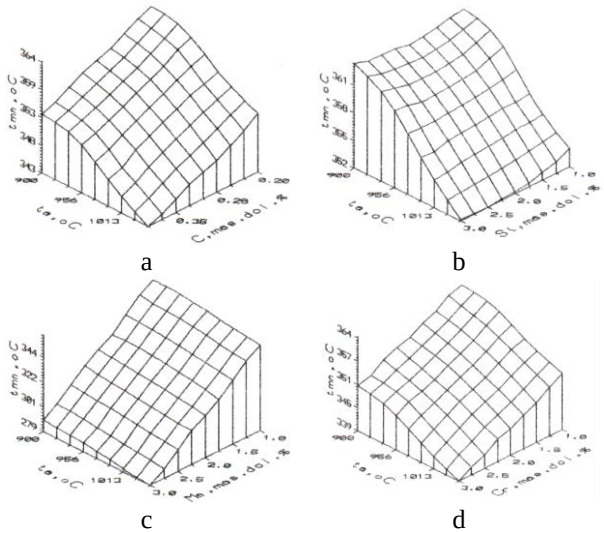
t_{sm}=439 - 58·C - 37·Mn - 8·Cr - 2578·N_a - 0.21·D_a, (6)
R = 0.904; δ = 8.7%; F_c = 178 > F_t = 4.1.

t_{sb}=940 - 97.4·C - 25.1·Mn - 972·N_a + 11.9·lnD_C, (7)
R = 0.987; δ = 2.3%; F_c = 192 > F_t = 4.4,

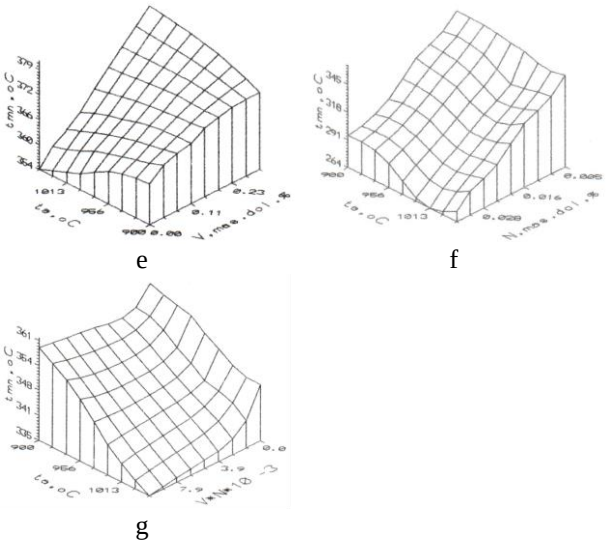
where: D_c - the carbon diffusion coefficient in austenite at the temperature interval of the bainite transformation which may shift with the chemical composition.

From the equations 6 and 7 it follows that during the supercooling of austenite in the region of bainitic and martensitic transformations in structural steels with permissible nitrogen and vanadium content, the nitrogen content present in the solid solution renders influence on the process. The analysis of the equations 6 and 7 shows, that depending on the content of vanadium, nitrogen and the temperature of the austenitization, the concentration of nitrogen in a solid solution and the bainite and martensite transformations start temperatures can be changed significantly. In case of the bainite structure the decrease in the transformation start is accompanied by a regular reduction in the diffusion mobility of carbon atoms.

The influence of element contents on start temperatures of the martensite and bainite transformations is shown in Fig. 4, 5.



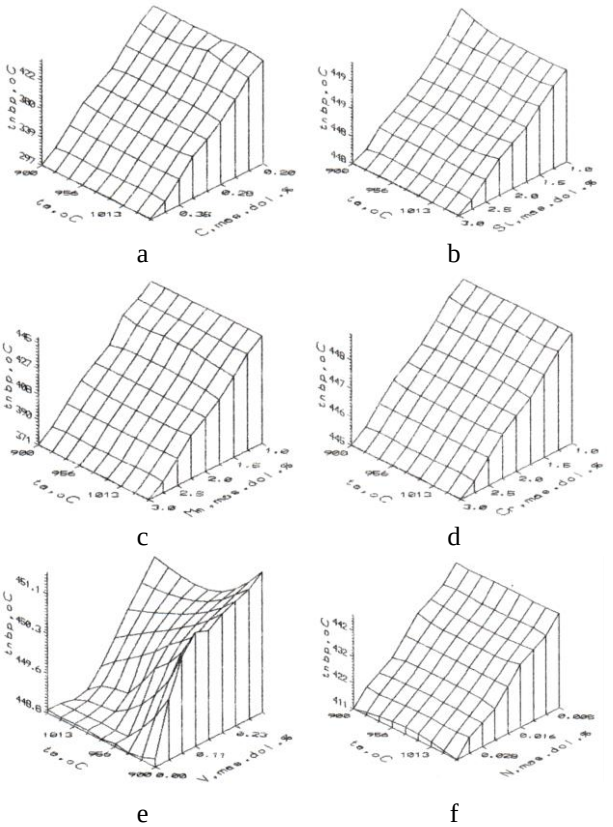
a b c d



e f g

Fig. 4. The influence of the carbon (a), silicon (b), manganese (c), chromium (d), vanadium (e), nitrogen (f), vanadium and nitrogen (g) on start temperature of the martensite transformation.

The base steel contains (wt.%) 0.2C, 1Si, 1Mn, lCr.



a b c d e f

Fig. 5. The influence of the carbon (a), silicon (b), manganese (c), chromium (d), vanadium (e), nitrogen (f) on start temperature of the bainite transformation.

The base steel contains (wt.%) 0.2C, 1Si, 1Mn, lCr.

Analysis of the data shown in Fig. 4 shows that carbon, chromium, manganese and nitrogen are reduced, silicon has practically no effect, and vanadium raises the temperature t_{sm}. The element effectiveness depends on their content in steel and the austenitization temperature

and can vary not only quantitatively, but also qualitatively. So if in steel 20KhGSL nitrogen and vanadium content increases, temperature t_{sm} decreases during austenitization from
1050 °C, and it increases at austenitization from 900 °C.

The element influence explains by simultaneously two parameters: thermodynamic (equilibrium temperature of austenite and martensite and kinetic (austenite grain size).

C, Mn, Cr reduce, and Si, V do not affect to the equilibrium temperature of austenite and martensite. When in steel silicon, manganese, and nitrogen content increase it leads to growth and, therefore, should lower, and carbon, chromium, and vanadium to disperse austenite grains, which should increase the temperature of the start of martensitic transformation.

The study results show that when the direction of influence of these factors coincides, for example, in the case of steel alloying by manganese, temperature t_{sm} decreases. If the direction of influence does not coincide, for example, when steel alloying by chromium, the efficiency of lowering the temperature t_{sm} decreases. So if in steel the manganese content increases from 1 to 3% it leads to a decreasing t_{sm} on 74-75 °C, then a similar alloying by chromium on 13-15 °C.

Taking 20KhGSL steel as the base, we determined the effectiveness of the influence of alloying elements on the start temperature of bainitic transformation t_{sb} at various austenitizing heating temperatures (Fig. 5).

It can be seen that C, Si, Mn, Cr, N lower the temperature t_{sb} of structural steels and, in terms of the specific influence efficiency, they can be arranged in the following sequence: Si, Cr, Mn, C, N.

Vanadium has practically no effect on the changing of temperature t_{sb}. Joint nitrogen and vanadium steel alloying leads to an extreme changing of the start temperature of bainite formation. The effectiveness of the effect of co-alloying with nitrogen and vanadium depends of the austenitization temperature of the steel.

For example, alloying steel 20KhGSAFL by nitrogen and vanadium in quantity up to $V \cdot N = (3\text{-}4) \cdot 10^{-3}$ % of the mass fraction leads to a decrease during cooling after heating to 900 °C, and at more additions to an increase of t_{sb} temperature, then after heating to 1050 °C, it observes of t_{sb} decreases in the studied range of nitrogen and vanadium content in steel.

Conclusions

1. An analytical dependence of the influence of alloying elements on the equilibrium temperature of vanadium nitride in austenite is established for the main alloying elements based on an analysis of state diagrams, which describe an actual process with an error of 0.9%.

2. As a result of the process analysis is theoretically justified and experimentally confirmed that the precipitation of the secondary phases from the supersaturated solution kinetics is controlled by the thermodynamic activity, diffusion mobility and solubility of the components forming the secondary phase in the solid solution, the deviation degree of the system from the equilibrium state, where the equilibrium state is the formation temperature and dissolution of the secondary phase.

3. The established quantitative regularity shows that the precipitation kinetics of the vanadium nitrides in austenite with a probability of 99.9% and an error of 7.1% is reliably described by the thermodynamic activity of nitrogen and vanadium, the deviation degree of the system from the equilibrium state, and the process time. In this case, the correlation coefficient between experimental and theoretical data is 0.915.

4. An analysis of the obtained analytical equations shows that the influence of the chemical composition on the content of the carbide and nitride-vanadium phases in the solid solution is significant. The elements are arranged according to the degree of increasing influence in the following sequence: the content of vanadium nitrides in austenite increases Si and decreases Mn, C, Cr.

5. As a result of studying the process of converting austenite to ferrite and perlite, martensite, and bainite, it was found that the nonequilibrium critical points of phase transformations are controlled by the equilibrium temperature of austenite and ferrite, the content of secondary phases in them, the diffusion mobility of carbon in austenite, the degree of alloying, and the grain size of austenite and in the case of diffusion transformations by the heating and cooling rate. Quantitative influence laws are determined, which describe the real process with a probability of 95% and an error from 2.3% to 7.1%.

References

1. *Doerti R.D.* (1987). Diffusive phase transformations in a solid material. *Fizicheskoye metallovedeniye.* Vol. 2. 276-365. Moscow. Metallurgy. [in Russian]

2. *Kristian Dzh.U.* (1968). Phase transformations. *Fizicheskoye metallovedeniye*. Vol. 2. 227-346. Moscow. Mir. [in Russian].

3. *Kurdyumov G.V., Utevskiy L.M., Entin R.I.* (1977). Transformations in Iron and Steel. Moscow. Nauka [in Russian].

4. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* (2019). Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. Vol. 95. Issue 3. 108–118. WoS. DOI 10.31489/2019M2/108-119. WoS.

5. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T. (2019). Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 1. № 1/6 (97). 6-12. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150. Scopus.

Список літератури

1. *Доэрти Р.Д.* Диффузионные фазовые превращения в твердом теле. Физическое металловедение. Москва. Металлургия. 1987. Т. 2.

С. 276-365.

2. *Кристиан Дж.У.* Фазовые превращения. Физическое металловедение. Москва. Мир. 1968. Т. 2. С. 227-346.

3. *Курдюмов Г.В., Утевский Л.М., Энтин Р.И.* Превращения в железе и стали. Москва. Наука, 1977. 236 с.

4. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 2019. Vol. 95. Issue 3. P. 108–118. WoS. DOI 10.31489/2019M2/108-119. WoS.

5. *Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T.* Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. № 1/6 (97). P. 6−12. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150. Scopus.

МОДЕЛЮВАННЯ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЯХ

Є. Г. Афтанділянц

Анотація. На основі аналізу діаграм стану для основних легуючих елементів встановлено аналітичну залежність впливу легуючих елементів на температуру рівноваги нітридів ванадію в аустеніті, яка з похибкою 0,9% описує реальний процес. В результаті аналізу процесу виділення вторинних фаз з пересичені розчину теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено, що кінетика процесу контролюється термодинамічної активністю, дифузійної рухливістю і розчинністю в твердому розчині компонентів, що утворюють вторинну фазу, а також ступенем відхилення системи від стану рівноваги, де за стан рівноваги приймається температура утворення і розчинення вторинної фази. Встановлена кількісна закономірність показує, що кінетика виділення нітридів ванадію в аустеніті з ймовірністю 99,9% і похибкою 7,1% достовірно описується термодинамічної активністю азоту і ванадію, ступенем відхилення системи від стану рівноваги і часом процесу. При цьому коефіцієнт кореляції між експериментальними і теоретичними даними становить 0,915. Аналізом отриманих аналітичних рівнянь показано, що вплив хімічного складу на вміст карбідної і нітрідванадієвої фаз в твердому розчині істотно. За ступенем зростаючого впливу елементи розташовуються в наступній послідовності: вміст нітридів ванадію в аустените збільшує Si і зменшують Mn, C, Cr. В результаті дослідження процесу перетворення аустеніту в ферит і перліт, мартенсит, бейнит встановлено, що нерівноважні критичні точки фазових перетворень контролюються температурою рівновагі аустеніту і фериту, вмістом в них вторинних фаз, дифузійної рухливістю вуглецю в аустеніті, ступенем легування і розміром зерна аустеніту і в разі дифузійних перетворень швидкістю нагріву і охолодження. Визначено кількісні закономірності такого впливу, які з ймовірністю 95% і похибкою від 2,3% до 7,1% описують реальний процес.

Ключові слова: конструкційна сталь, хімічний склад, термічна обробка, аустеніт, ферит, перліт, мартенсит, бейніт, фазові перетворення.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЯХ

Е. Г. Афтандилянц

Аннотация. На основе анализа диаграмм состояния для основных легирующих элементов установлена аналитическая зависимость влияния легирующих элементов на температуру равновесия нитридов ванадия в аустените, которая с погрешностью 0,9% описывают реальный процесс.

В результате анализа процесса выделения вторичных фаз из пересыщенного раствора теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что кинетика процесса контролируется термодинамической активностью, диффузионной подвижностью и растворимостью в твердом растворе компонентов, образующих вторичную фазу, а также степенью отклонения системы от состояния равновесия, где за состояние равновесия принимается температура образования и растворения вторичной фазы.

Установленная количественная закономерность показывает, что кинетика выделения нитридов ванадия в аустените с вероятностью 99,9% и погрешностью 7,1% достоверно описывается термодинамической активностью азота и ванадия, степенью отклонения системы от состояния равновесия и временем процесса. При этом коэффициент корреляции между экспериментальными и теоретическими данными составляет соответственно 0,915.

Анализом полученных аналитических уравнений показано, что влияние химического состава на содержание карбидной и нитридванадиевой фаз в твердом растворе существенно. По степени возрастающего влияния элементы располагаются в следующей последовательности: содержание нитридов ванадия в аустените увеличивает Si и уменьшают Mn, C, Cr.

В результате исследования процесса превращения аустенита в феррит и перлит, мартенсит, бейнит установлено, что неравновесные критические точки фазовых превращений контролируются температурой равновесия аустенита и феррита, содержанием в них вторичных фаз, диффузионной подвижностью углерода в аустените, степенью легирования и размером зерна аустенита и в случае диффузионных превращений скоростью нагрева и охлаждения. Определены количественные закономерности такого влияния, которые с вероятностью 95% и погрешностью от 2,3% до 7,1% описывают реальный процесс.

Ключевые слова: конструкционная сталь, химический состав, термическая обработка, аустенит, феррит, перлит, мартенсит, бейнит, фазовые превращения.

Є. Г. Афтанділянц ORCID 0000-0003-2681-0645.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 21-27
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.021-027

УДК 620.953 : 631.11

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

В. М. Поліщук[1], С. А. Шворов[1], Д. А. Дерев'янко[2], Т. С. Давиденко[1]

[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
[2]Поліський національний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: polischuk.v.m@gmail.com; sosdok@i.ua; derevyanko.dmutro@gmail.com; davidenkotaras009@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2020, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 14, рис. 1, табл. 2.

Анотація. Проведений аналіз економічної ефективності виробництва біогазу. Встановлено, що економічна ефективність діючих на даний момент в нашій країні біогазових установок, які працюють на тваринницьких відходах, дуже невисока. Жодна з них не має задовільного терміну окупності інвестицій (не менше десяти років за терміну експлуатації двадцять років). Вихід біогазу при зброджуванні гною ВРХ незначна і за результатами наших досліджень становить в середньому 0,7 л/год·кг СОР, що не дозволяє швидко окупатись капіталовкладенням навіть враховуючи "зелений" тариф на електроенергію, вироблену з біогазу. При додаванні косубстратів в незначній кількості до субстрату на основі гною ВРХ вихід біогазу, за нашими дослідженнями, збільшується до 1,4 л/год·кг СОР і вище. Проведене дослідження ефективності виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах на прикладі модельного господарства із стадом 1000 голів ВРХ (500 голів дійних корів і 500 голів молодняку і нетелів). Встановлена залежність питомих капітальних витрат на будівництво біогазового комплексу від його потужності. Оскільки в сільськогосподарських підприємствах обмежена можливість отримувати дешеві високопродуктивні косубстрати, які б дозволили суттєво підвищити вихід біогазу при зброджуванні гною ВРХ, в них доцільно впроваджувати переробні виробництва, наприклад переробку молока на молокопродукти і виробництво крохмалю із картоплі, яка тут вирощується. Відходи цих переробних підприємств здатні повність забезпечити біогазову установку високопродуктивними косубстратами, що дозволить отримати термін окупності біогазової установки на рівня 6,4 роки.

Ключові слова: біогаз, біогазова установка, гній ВРХ, субстрат, косубстрат, вихід біогазу, економічна ефективність, термін окупності, собівартість.

Постановка проблеми

Біоконверсія відходів тваринництва – найважливіша проблема сучасності. Вона пов'язана, з одного боку, з можливістю використання величезного енергетичного потенціалу біомаси для отримання газоподібного палива (біогазу), з іншого – для запобігання забруднення повітряного і водного басейнів, грунту і посівів завдяки утилізації та дезодорації стічних вод тваринницьких комплексів, переробної промисловості, а також отримання стерильних, високоефективних органічних добрив.

Разом із тим, в сучасний біогазовий комплекс необхідно вкладати суттєві капіталовкладення. А будь-які грошові інвестиції для швидкого отримання прибутку повинні якомога швидше окуповуватись. Тому економічна ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах має неабияке значення.

Аналіз останніх досліджень

Потенціал виробництва біометану з гною ВРХ в сільськогосподарських підприємствах становить в межах 390-1094 млн. м^3, з гною свиней – 116-583 млн. м^3, з посліду птахів – в середньому 1192 млн. м^3 [1]. Однак, за словами Юрія Епштейна, директора Акорд ЛТД, експерта в галузі альтернативної енергетики, економічна ефективність діючих на даний момент в нашій країні сільськогосподарських програм з отримання біогазу дуже невисока. Жодна з них не має задовільного терміну окупності інвестицій. Згідно з [2], термін окупності біогазових установок – не менше десяти років за терміну експлуатації двадцять років.

Згідно даних роботи [3], при обсязі завантаження гною ВРХ в біогазову установку від 20 до 100 т/добу собівартість виробництва 1000 м^3 біогазу може коливатись в межах 839-514 грн. В роботі [4] встановлено, що собівартість біогазу із гною ВРХ в перерахунку на метан становить 5,3 грн./м^3. Виробництво біогазу гною ВРХ в сільськогосподарських підприємствах забезпечить джерела відновлюваної енергії, які здатні зменшити залежність виробників від дорогих енергоносіїв, що сприятиме відродженню скотарства в Україні. При

цьому значна частина біогазу буде використовуватися передусім для власних потреб сільськогосподарських підприємств, проте, за умови використання відповідного обладнання, решту енергії можливо реалізовувати іншим споживачам. Можливе використання установок для одночасного виробництва електроенергії і тепла, а також спеціального обладнання для очищення біогазу і використання його як звичайного пального для автомобілів та іншої сільськогосподарської техніки. У районах, де щільність поголів'я тварин є високою і збереглися великотоварні підприємства із поголів'ям великої рогатої худоби понад 500 голів, доцільно організовувати біоенергетичні кластери із виробництва біогазу [5]. Ці кластери повинні об'єднувати потужні біогазові енергетичні комплекси, електростанції на базі когенераційних установок та станції з очищення біогазу для виробництва газоподібного палива і заправлення транспортних засобів.

Разом із тим, в літературних джерелах не досліджена економічна ефективність виробництва біогазу для конкретного господарства із визначеною кількістю сільськогосподарських тварин з використанням відходів переробних підприємств.

Мета досліджень

Мета дослідження – встановлення економічної ефективності виробництва біогазу в модельному господарстві із стадом 1000 голів ВРХ з використанням відходів переробних підприємств.

Результати досліджень

Ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах буде розглянута на прикладі модельного господарства із дійним стадом 1000 голів ВРХ (500 голів дійних корів і 500 голів молодняку і нетелів). В господарстві для заміни частини нафтового дизельного палива виробляється біодизель. Для підвищення родючості грунту і для потреб кормовиробництва використовуються відходи виробництва біогазу.

За інформацією, яка наводиться ТОВ "Теплосоюз Україна" [6] і підтверджується ТОВ "Галс Агро" із посиланням на європейський досвід реалізації аналогічних проектів, питомі капітальні витрати на будівництво біогазового комплексу з енергетичним блоком потужністю до 500 кВт становлять 3500 €/кВт, від 500 до 1000 кВт – 3000 €/кВт, від 1000 кВт і більше – 2000–2500 €/кВт, понад 5000 кВт – 1700 €/кВт. Залежність питомих капітальних витрат на будівництво біогазового комплексу від його потужності можна апроксимувати наступною функцією:

$$ПКВ_{БУ} = -258258 \cdot P + 3506659 \text{ при } R^2=0{,}9968, \quad (1)$$

де $ПКВ_{БУ}$ – питомі капітальні витрати на будівництво повністю укомплектованої біогазової установки, €/МВт; P – потужність біогазової установки, МВт.

Основною сировиною для виробництва біогазу в сільському господарстві є гній. Гній ВРХ вже містить в собі иетаноутворюючі бактерії, що покращує бродіння. Однак вихід біогазу при зброджуванні гною ВРХ незначна і за результатами наших досліджень становить в середньому 0,7 л/год·кг сухої органічної речовини (СОР), що не дозволяє швидко окупатись капіталовкладенням навіть враховуючи "зелений" тариф на електроенергію, вироблену з біогазу. Для покращення виходу біогазу рекомендовано до субстрату додавати косубстрати (або замінювати ними воду чи дигестат, які додаються до субстрату для досягнення його оптимальної вологості). До таких косубстратів відносяться розмелене зерно хлібних злаків, сироватка, відходи крохмалевмісних виробництв, сирий гліцерин, фуз, соапсток, меляса, барда тощо. При додаванні вказаних косубстратів в незначній кількості до субстрату вихід біогазу, за нашими дослідженнями, збільшується до 1,4 л/год·кг СОР і вище. При цьому суттєво збільшувати розмір метантенку, доброджувача, резервуарів для дигестату не потрібно, оскільки об'єм сировини, що завантажується в метантенк, майже не збільшиться, що не викличе збільшення капіталовкладень.

Порівняння економічної ефективності виробництва біогазу із гною 1000 голів ВРХ без і з додаванням косубстратів наведене в табл. 1, при цьому матеріальний баланс виробництва біогазу встановлений за методикою, наведеною в [7]. При цьому вважалось, що оскільки сировиною для виробництва біогазу є відходи тваринництва і переробних виробництв, які функціонують в господарстві, і після перебродження будуть використані для відновлення родючості грунту в сільськогосподарському підприємстві, затрати на закупівлю сировини були відсутні.

Для збільшення виходу біогазу потрібно використовувати косубстрати. Перш за все, в якості косубстратів можна використати відходи від виробництва біодизеля: сирий гліцерин, фуз, соапсток. Вихід відходів від виробництва дизельного біопалива при вирощуванні ріпаку на площі 100 га наведено в табл. 2.

Слід зазначити, що макуха є чудовим концентрованим кормом для ВРХ і для потреб виробництва біогаз не використовується.

Для виходу біогазу в розмірі 1,4 л/год.·кг СОР, згідно із проведеними нами дослідженнями, достатньо додати до субстрату 0,75% сирого гліцерину, або 1,2% соапстоку, або 1,3% фузу. При цьому щодоби необхідно завантажувати в метантенк $58{,}8 \cdot 0{,}75/100 = 0{,}44$ т сирого гліцерину або $58{,}8 \cdot 1{,}2/100 = 0{,}71$ т соапстоку або $58{,}8 \cdot 1{,}3/100 = 0{,}76$ т фузу, щороку при річному часі роботи біогазової установки 340 діб (решта часу відводиться на різні види ремонту і технічного обслуговування) – 0,44·340=150 т сирого гліцерину або 0,71·340=241 т соапстоку або 0,76·340=258 т фузу.

При виробництві дизельного біопалива В5 із ріпаку, вирощеного на площі 100 га при врожайності 30 ц/га отримується 15,58 т сирого гліцерину, 2,61 т соапстоку і 3,895 т фузу.

Таблиця 1. Економічна ефективність виробництва біогазу із гною 1000 голів ВРХ
Table 1. Economic efficiency of biogas production from manure of 1000 cattle heads

Показник	Субстрат	
	гній ВРХ без косубстратів	гній ВРХ з косубстратами
Добове завантаження субстрату, всього, т/добу	58,8	58,8
Добове завантаження субстрату, всього, м^3/добу	56,5	56,5
в т.ч. гною ВРХ	40,0	40,0
води, дигестату, кліткового соку, мезги чи сироватки	16,5	16,5
Вихід біогазу в метантенку, л/год·кг СОР	0,7	1,4
м^3/добу	8745	17575
Вихід біогазу в доброджувачі (20%), м3/добу	1749	3515
Вихід біогазу загальний, м3/добу	10494	21090
Теплота згорання біогазу, МДж/м^3	18,6	18,6
Потужність (енергія виробленого біогазу),		
МДж/добу	195661	393230
МДж/с (МВт)	2,265	4,551
кВт·год./год.	2 265	4 551
кВт·год./рік	18 479 070	37 138 423
ККД когенераційної установки, %		
- електричне	42	42
- теплове	48	48
- загальне	90	90
Вироблено енергії за рік, кВт·год/рік		
- електричної	7 761 209	15 598 138
- теплової	8 869 953	17 826 443
- загальної	16 631 163	33 424 581
Вартість біогазової установки, Євро	6 616 707	10 610 189
грн.	191 884 510	307 016 667
Затрати на сировину, грн.	-	-
Собівартість виробництва біогазу, грн.	9 660 004	15 416 612
грн./м^3	2,71	2,16
Ефективність за зеленим тарифом:		
Вартість електроенергії за "зеленим" тарифом, грн./кВт·год.	4,072	4,072
Грошові надходження від продажу електроенергії, грн./рік	31 603 644	63 234 267
Прибуток, грн./рік	21 943 640	47 817 655
Термін окупності, років	8,7	6,4
Ефективність без зеленого тарифу:		
Вартість електроенергії без "зеленого" тарифу, грн./кВт·год.	2,54576	2,54576
Грошові надходження від продажу електроенергії, грн./рік	19 758 176	39 533 219
Прибуток, грн./рік	10 098 172	24 116 607
Термін окупності, років	19,0	12,7

Таблиця 2. Вихід відходів від виробництва дизельного біопалива при вирощуванні ріпаку на 100 га
Table 2. Exit of waste from the production of diesel biofuel when rapeseed is grown on 100 ha

Відходи	Врожайність, ц/га				
	10	15	20	25	30
Макуха, т	64,17	96,29	128,41	160,53	192,65
Сирий гліцерин, т	5,19	7,79	10,38	12,98	15,58
Технічна вода, т, в т.ч.	5,88	8,83	11,77	14,71	17,66
соапсток, т	0,87	1,31	1,74	2,18	2,61
Фуз, т	1,297	1,947	2,596	3,245	3,895

Оскільки нами встановлено, що для задоволення господарства в річній потребі на дизельне біопаливо В5 достатньо виростити ріпак на площі 8 га, вихід сирого гліцерину буде становити 15,58·8/100= =1,246 т/рік, соапстоку – 2,61·8/100=0,21 т/рік, фузу – 3,895·8/100=0,312 т/рік.

Отже, отриманий при виробництві дизельного біопалива сирий гліцерин може забезпечити потребу біогазової установки і косубстратах лише на 1,246·340/150=2,8 доби, соапсток – на 0,21·340/241= =0,3 доби, фуз – на 0,312·340/258=0,4 доби. Тобто, відходи біодизельного виробництва здатні забезпечити

косубстратом біогазову установку лише на протязі 2,8+0,3+0,4=3,5 діб.

Чудовим косубстратом є відходи підприємств громадського харчування. В господарстві існує столова, в якій харчуються близько 100 працівників. При приготуванні страв утворюються тверді побутові відходи (ТПВ), при харчуванні працівників – харчові відходи. Норматив утворення в столових ТПВ – 0,03 кг/добу на 1 блюдо, харчових відходів – 0,01 кг/добу на 1 блюдо [13]. Кількість блюд визначається технологами. Якщо кількість блюд невідома, для грубого визначення відходів одноразового харчування в столові людини норма утворення відходів множиться на 3,3 – (0,03+0,01)·3,3=0,04·3,3=0,132 кг/добу, на 100 працівників: 0,132·100=13,2 кг/добу. Відходи за рік при одноразовому харчуванні при 6-денному робочому тижні становлять 13,2· (362-12·4)=4145 кг/рік, або 4,145 т/рік. При триразовому харчуванні кількість відходів становить 4,145·3=12,435 т/рік. Відходи підприємств громадського харчування (при умові повного забезпечення ВРХ кормами) до субстрату доцільно додавати у кількості 5% від маси субстрату: 15,878·5/100=0,794 т/добу і їх вистачає на 12,435/0,794=15,7 діб.

В біогазових установках не прийнято різко змінювати склад субстрату, це може негативно сказатись на життєдіяльності метаноутворюючих бактерій, а отже, і на виході біогазу. Тому необхідно підібрати один чи два косубстрати, яких би вистачило на річну експлуатацію біогазової установки, а сирий гліцерин, фуз, соапсток залишались би в якості резерву, або їх можна в невеликій кількості на протязі року додавати до основного субстрату. Відходи підприємств громадського харчування в цьому випадку доцільно використовувати для кормових цілей [14].

В господарстві існує досить велике стадо корів – 500 шт. Середній надій молока в Україні за 2016 рік становив 4735 кг/рік від однієї корови [9, с. 326]. Від 500 дійних корів в господарстві буде отримано 4735·500=2367500 кг/рік, або 2367,5 т/рік молока, яке необхідно десь реалізовувати. Будемо вважати, що 20% молока йде на відгодівлю телят і на продаж населенню (2367,5·0,2=473,5 т/рік, 473,5/362=1,31 т/добу), решту 80% (2367,5·0,8=1894 т) доцільно переробляти в молокопродукти, оскільки молоко – продукт, який швидко псується. Для цього на території господарства недалеко від ферми можна збудувати мінімолокозавод продуктивністю близько 5000 л/добу орієнтовною вартістю 3,1 млн. грн. При цьому крім подовження терміну збереження молокопродукту вирішується проблема зайнятості сільського населення. Відходи від переробки молока можна використовувати як корм для тих же корів. Однак оскільки під кормові культури в господарстві відведені достатні площі с.-г. угідь, отримані відходи можна використати в якості косубстрату в біогазових установках.

Для спрощення розрахунку матеріального балансу будемо вважати, що на мінімолокозаводі виробляється лише один вид молоко продукції – кисломолочний сир, відходом від виробництва якого є сироватка. Теоретичний вихід молочної сироватки становить близько 90% від кількості сировини, що переробляється [10]. Із 1894 т молока отримується 1894·0,1=189 т кисломолочного сиру і 1894·0,9=1705 т кисломолочної сироватки. Нами експериментально встановлено, що при заміні сироваткою 55% води в субстраті вихід біогазу буде на рівні 1,4 л/добу·кг СОР. При цьому щодоби необхідно завантажувати 15,878·55/100=8,733 т, або 8,733·340=2970 т/рік сироватки. Виробленої сироватки в якості дигестату вистачить на 1705/8,733=195 діб роботи біогазової установки.

Такий мінімолокозавод може окупитись досить швидко. При вартості кисломолочного сиру нефасованого жирністю 10% на 2019 р. 80 грн./кг. річний прибуток від продажу 189 т становить 80·1000·189=15 120 000 грн. Якби все молоко здавалось на інший молокозавод, який не належить господарству, то при закупочній ціні на молоко другого гатунку від с.-г. підприємств 7500 грн./т річний прибуток становив би 7500·1894=14 205 000 грн. Різниця прибутків від продажі кисломолочного сиру і здачі молока на переробку становить 15 120 000-14 205 000-925 000 грн. Термін окупності мінімолокозаводу в такому випадку становитиме 3100000/915000=3,4 роки, і це не враховуючи сироватки, яку однак важко реалізувати не в висушеному вигляді. Однак ще не вистачає косубстрату на 340-195=145 діб.

Для забезпечення біогазового виробництва в достатній кількості дешевих косубстратів рекомендується в господарстві організувати переробку с.-г. продукції з отриманням готового продукту і відходів, які можна використати в якості косубстрату.

Наприклад, це могло б бути виробництво крохмалю з картоплі. При переробці картоплі на крохмаль втрачається близько 20% сухої речовини сировини у вигляді картопляного соку і 20% у вигляді мезги. Відходи від переробки картоплі можна використовувати як корми для худоби, однак в свіжому вигляді вони довго не зберігаються, а для їх переробки з можливість тривалого зберігання потрібні додаткові капіталовкладення. Тому існує проблема утилізації цих відходів. Картопляний сік, дрібна мезга і колоїдний крохмаль утворюють концентровані стічні води. При традиційній технології виробництва крохмалю з кожної тонни тертої картоплі виділяється 0,75 $м^3$ концентрованого соку із забрудненням по біологічному споживанню кисню (БСК) 60000 мг $О^2$/л, який розбавляється технологічними стоками і дає 10-14 $м^3$ стічних вод. Крім втрат сировини необхідні значні витрати на очистку стоків, що утворюються [11].

За нашими дослідженнями, вихід біогазу становить 1,4 л/добу·кг СОР при вмісті 1,9% крохмалю в субстраті.

Якщо в якості косубстрату використовувати крохмаль (його потрібно 1,9% від маси субстрату), то потрібно 58,8·1,9/100=1,12 т/добу чистого крохмалю, або 1,12·145=162 т/рік чистого крохмалю.

В клітковому соку міститься 6% крохмалю, в меззі – 10% [12], в середньому – 8% крохмалю міститься у відходах. Тому для використання в якості косубстрату потрібно 162·100/8=2025 т/рік кліткового

соку і мезги.

Чистий крохмаль в кількості 162 т/рік, який є косубстратом для біогазової установки, становить 8% від всієї кількості крохмалю, що містилась в картоплі, яка перероблялась. Всього було перероблено 162·100/8=2025 т/рік крохмалю, який був використаний як в якості готового продукту (2025-162=1863 т/рік), так і як сировина для біогазової установки. Всього в картоплі міститься до 22% крохмалю. Отже, для отримання 2025 т/рік крохмалю необхідно переробити 2025·100/22=9200 т/рік картоплі. При дотриманні технології вирощування картоплі може становити 250 ц/га. При такій врожайності для отримання 9200 т картоплі потрібно засадити 9200/250/10=368 га с.-г. угідь.

Вартість міні лінії виробництва крохмалю продуктивністю 100 т/год. становить від $10000 до $55000. Вартість крохмалю на світовому ринку становить 550 $/т. Прибуток від продажу крохмалю становить 550·1863=931 500 $/рік, або 931500·26=24 219 000 грн./рік. Якщо ці 9200 т картоплі, із якої виробляється крохмаль, продати за оптовою ціною 2,5 грн./кг, господарство матиме грошові поступлення в розмірі 9200·1000·2,5=23 000 000 грн. Тому прибуток господарства від впровадження лінії з виробництва крохмалю замість продажу вирощеної картоплі становить 24219000-23000000=1 219 000 грн./рік. Термін окупності інвестицій в лінію виробництва крохмалю в цьому випадку становитиме від 10000·28/12019000=0,2 років до 55000·28/12019000= =1,2 років.

На рис. 1. наведена схема виробництва і використання біогазу в умовах сільськогосподарського підприємства.

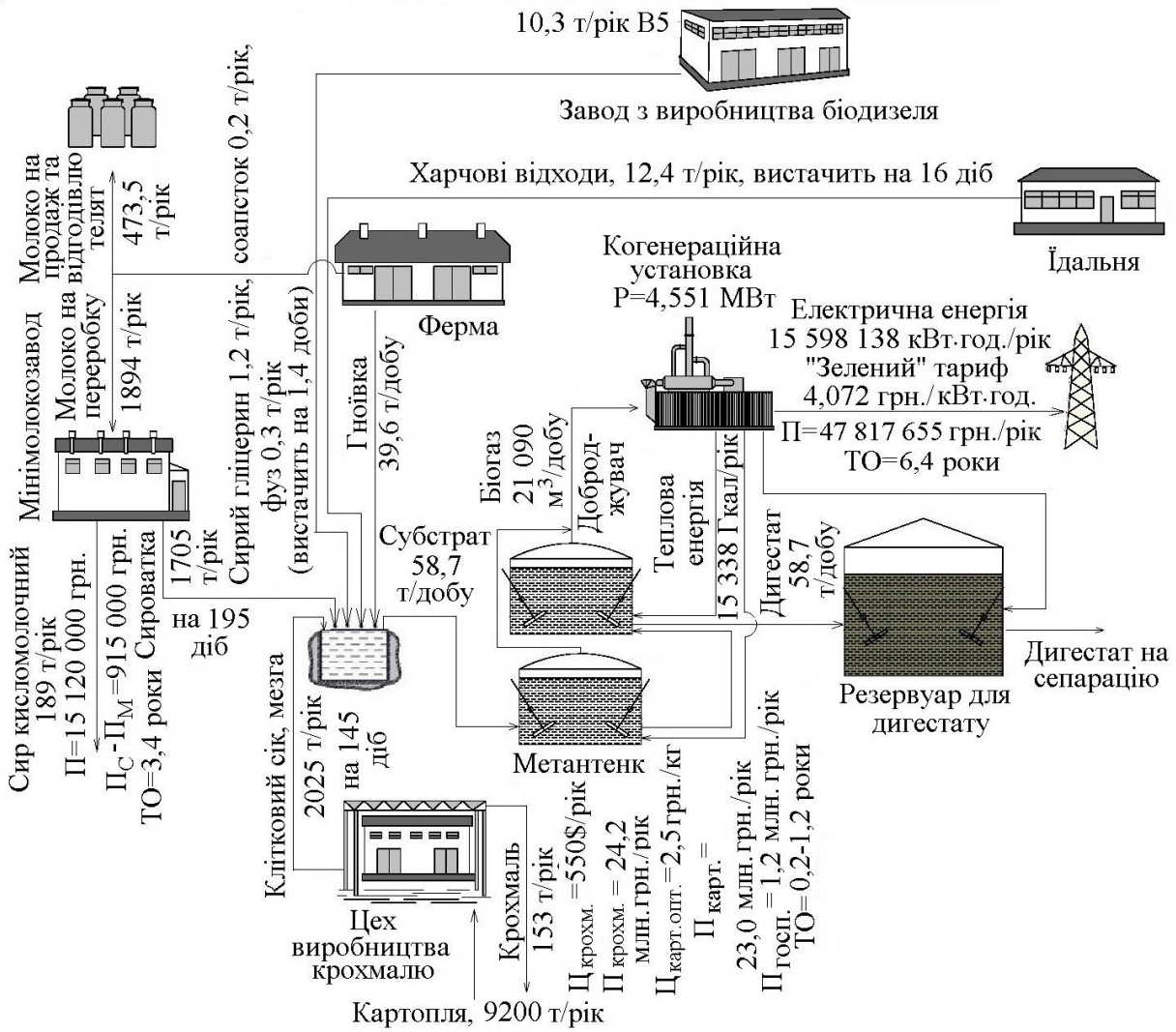


Рис. 1. Схема виробництва і використання біогазу в умовах сільськогосподарського підприємства.
Fig. 1. Scheme of production and use of biogas in an agricultural enterprise.

Висновки

1. В умовах сільського господарського підприємства тваринницького типу існує достатньо тваринницьких відходів (як правило, гною ВРХ), які можна використати в якості сировини для виробництва біогазу. Однак вихід біогазу із гною ВРХ недостатній для раціональної окупності капіталовкладень в біогазову установку. Для підвищення виходу біогазу до гною ВРХ необхідно додавати косубстрати, в якості яких можна використовувати відходи переробних виробництв.

2. В сільськогосподарському підприємстві доцільно впроваджувати переробні виробництва, наприклад переробку молока на молокопродукти і виробництво крохмалю із картоплі, яка тут вирощується. Відходи цих переробних підприємств здатні повність забезпечити біогазову установку високопродуктивними косубстратами, що дозволить отримати термін окупності біогазової установки на рівня 6,4 роки.

Список літератури

1. *Кернасюк Ю. В.* Потенціал виробництва біогазу в галузі тваринництва України. *Продовольчі ресурси*. 2019. № 12. С. 202–209.

2. *Кухарець С. М., Голуб Г. А., Медведський О. В., Лозовий А. С.* Напрямки використання біогазових установок в умовах аграрного виробництва. *Біоенергетичні системи в аграрному виробництві:* І всеукраїнська науково-практична конференція, м. Житомир, 16–17 листопада 2017 р.: тези доповіді. Житомир, 2017. С. 4–11.

3. *Кернасюк Ю. В.* Науково-методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету*. 2010. Вип. 17. С. 164–171.

4. *Доронін А. В.* Ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах галузі скотарства України. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2015. Вип. 11. Ч. 3. С. 52–55.

5. *Кернасюк Ю. В.* Оцінка біогазового енергетичного потенціалу галузі скотарства у сільськогосподарських підприємствах. *АгроІнКом*. 2010. № 4–6. С. 46–49.

6. *Керсанюк Ю.* Біогазова альтернатива розвитку АПК України. *Агробізнес сьогодні*. 2013. № 18. С. 50–53.

7. *Поліщук В. М., Дубровін В. О., Драгнєв С. В., Лободко М. М., Дубровіна О. В.* Процеси та апарати біотехнологічних виробництв. Ч. 2. Визначення виходу гнойової біомаси при утриманні худоби і птиці: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін "Процеси та апарати біотехнологічних виробництв" для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів 3-4 рівнів акредитації освітньо-кваліфікаційного рівня „Магістр" зі спеціальності 8.10010203 "Механізація сільського господарства". К.: АграрМедіаГруп, 2013. 20 с.

8. Безопасное обращение с отходами: сб. нормативно-методических док. 5-е изд. СПб: Интеграл, 2007. 576 с.

9. Статистичний щорічник України за 2016 рік. К.: Державна служба статистики України, 2017. 612 с.

10. *Соколова З. С., Лакомова Л. И., Тиняков В. Г.* Технология сыра и продуктов переработки сыроватки: учебник. М.: Агропромиздат, 1992. 335 с.

11. *Мерисаар М. Г.* Утилизация отходов картофелеперерабатывающей промышленности при кормлении сельскохозяйственных животных: автореф. дис. на получение научн. степени канд. с.-х. наук: спец. 06.02.02 "Кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов". Тарту, 1991. 24 с.

12. *Дышлюк Л. С., Асякина Л. К., Карчин К. В., Зимина М. И.* Изучение химического состава и показателей безопасности отходов картофельного производства. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 3. [Электронный ресурс]. URL: https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13587 (дата доступа: 03.12.2018).

13. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 2019. Vol. 95. Issue 3. P. 108–118. DOI 10.31489/2019M2/108-119. WoS.

14. *Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T.* Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. № 1/6 (97). P. 6−12. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150. Scopus.

References

1. *Kernasyuk Yu.V.* (2019). Potential for biogas production in the livestock sector of Ukraine. Food resources. 12, 202–209.

2. *Kuharets S. M., Golub G. A. , Medvedsky O. V., Lozovy A. S.* (2017). Directions of use of biogas plants in the conditions of agricultural production. Proceedings from I All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «Bioenergy systems in agricultural production». (pp. 4-11). Zhytomyr [in Ukrainian]

3. *Kernasyuk Yu.V.* (2010). Scientific and methodological approaches to determining the cost of production and economic efficiency of bioenergy manure utilization. Scientific papers of Kirovograd National Technical University. 17, 164–171.

4. *Doronin A. V.* (2015). Efficiency of biogas production in agricultural enterprises of the cattle breeding industry of Ukraine. Scientific Bulletin of Kherson State University. 11 (3), 52–55.

5. *Kernasyuk Yu.V.* (2010). Assessment of the biogas energy potential of the livestock sector in agricultural enterprises. AgroInCom. 4-6, 46–49.

6. *Kernasyuk Yu.V.* (2013). Biogas alternative to the development of agro-industrial complex of Ukraine. Agribusiness today. 18, 50–53.

7. *Polishchuk V. M., Dubrovin V. O., Dragnev S. V., Lobodko M. M., Dubrovina O. V.* (2013). Processes and devices of biotechnological industries. Part 2. Determination of biomass manure output during cattle and poultry keeping: methodical instructions for laboratory work in the disciplines "Processes and apparatus of biotechnological production" for students of agricultural higher educational establishments 3-4 levels of accreditation of educational and qualification level "Master's degree103 "3 "Mechanization of agriculture". Kyiv: AgrarMediaGroup, 20.

8. Waste Management. (2007). Saint Petersburg:

Integral. 576.

9. Statistical Yearbook of Ukraine for 2016. (2017). Kyiv: State Statistics Service of Ukraine. 612.

10. *Sokolova Z. S., Lakomova L. I., Tinyakov V. G.* (1992). Technology of cheese and cheese products. Moscow: Agropromizdat, 335.

11. *Merisaar M. G.* (1991). Disposal of waste from the potato industry for feeding farm animals. Extended abstract of candidate's thesis. Tartu. 24.

12. *Dyshlyuk L. S., Asyakina L. K., Karchin K. V., Zimina M. I.* (2014). Study of the chemical composition and safety indicators of potato waste. Modern problems of science and education, 3. Retrieved from https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13587 [in Ukrainian].

13. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* (2019). Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. Vol. 95. Issue 3. 108–118. WoS. DOI 10.31489/2019M2/108-119. WoS.

14. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T. (2019). Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 1. № 1/6 (97). 6-12. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150. Scopus.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В. Н. Полищук, С. А. Шворов, Д. А. Деревянко, Т .С. Давиденко

Аннотация. Проведен анализ экономической эффективности производства биогаза. Установлено, что экономическая эффективность действующих на данный момент в нашей стране биогазовых установок, работающих на животноводческих отходах, очень невысока. Ни одна из них не имеет удовлетворительного срока окупаемости инвестиций (не менее десяти лет при сроке эксплуатации двадцать лет). Выход биогаза при сбраживании навоза КРС незначителен и по результатам наших исследований составляет в среднем 0,7 л/ч·кг СОВ, что не позволяет быстро окупаться капиталовложениям, даже учитывая "зеленый" тариф на электроэнергию, производимую из биогаза. При добавлении косубстрата в незначительном количестве к субстрату на основе навоза КРС выход биогаза, по нашим исследованиям, увеличивается до 1,4 л/ч·кг СОВ и выше. Проведено исследование эффективности производства биогаза в сельскохозяйственных предприятиях на примере модельного хозяйства со стадом 1000 голов КРС (500 голов дойных коров и 500 голов молодняка и нетелей). Установлена зависимость удельных капитальных затрат на строительство биогазового комплекса от его мощности. Поскольку в сельскохозяйственных предприятиях ограничена возможность получать дешевые высокопроизводительные косубстраты, позволяющие существенно повысить выход биогаза при сбраживании навоза КРС, в них целесообразно внедрять перерабатывающие производства, например переработку молока на молочные продукты и производство крахмала из картофеля, которая здесь выращивается. Отходы этих перерабатывающих предприятий способны полностью обеспечить биогазовую установку высокопроизводительными косубстратами, что позволит получить срок окупаемости биогазовой установки на уровне 6,4 года.

Ключевые слова: биогаз, биогазовая установка, навоз КРС, субстрат, косубстрат, выход биогаза, экономическая эффективность, срок окупаемости, себестоимость.

EFFICIENCY OF PRODUCING BIOGAS IN AGRICULTURAL ENTERPRISES

V. M. Polishchuk, S. A. Shvorov, D. A. Derevianko, T. S. Davydenko

Abstract. The analysis of the economic efficiency of biogas production is carried out. It has been established that the economic efficiency of biogas plants operating on livestock waste currently operating in our country is very low. None of them have a satisfactory return on investment (at least ten years with a useful life of twenty years). Biogas yield during cattle manure fermentation is insignificant and according to the results of our research averages 0,7 l/h·kg dry organic matter, which does not allow us to quickly pay off investment, even taking into account the "green" tariff for electricity produced from biogas. By adding a small amount of cosubstrate to the substrate based on cattle manure, the biogas yield, according to our studies, increases to 1,4 l/h·kg dry organic matter and above. A study of the efficiency of biogas production in agricultural enterprises was carried out on the example of a model farm with a herd of 1000 head of cattle (500 head of dairy cows and 500 head of young and heifers). The dependence of specific capital costs for the construction of a biogas complex on its capacity has been established. Since agricultural enterprises have limited access to cheap, high-performance cosubstrates, which can significantly increase biogas output when cattle manure is fermented, it is advisable to introduce processing industries, for example, processing milk into dairy products and producing starch from potatoes, which are grown here. The waste from these processing plants is able to fully provide the biogas plant with high-performance cosubstrates, which will make it possible to obtain a payback period of the biogas plant at the level of 6,4 years.

Key words: biogas, biogas plant, cattle manure, substrate, cosubstrate, biogas yield, economic efficiency, payback period, cost.

В. М. Поліщук ORCID 0000-0002-9654-9051.
С. А. Шворов ORCID 0000-0001-7776-9940.
Д. А. Дерев'янко ORCID 0000-0001-8487-2153.
Т. С. Давиденко ORCID 0000-0003-0277-6892.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 29-33*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.029-033

УДК 631.316.022.4: 621.791.927.5

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВАГОВОГО І ЛІНІЙНОГО ЗНОШЕНЬ ВІД РЕСУРСНИХ ПОКАЗНИКІВ СЕРІЙНИХ І ЗМІЦНЕНИХ КОМБІНОВАНИМ МЕТОДОМ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП

М. О. Василенко, Д. О. Буслаєв

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.
Стаття з спеціальності: 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Кореспонденція авторів: buslaev_@ukr.net

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.

Бібл. 19, рис. 5, табл. 0.

Анотація. Робота присвячена підвищенню ресурсних показників культиваторних лап при використанні комбінованого методу зміцнення. У статі наведено схему комбінованого тришарового формування леза культиваторних лап, яке забезпечує підвищення ресурсних показників за рахунок нанесення порошкових абразивностійких матеріалів дуговим наплавленням. Такий метод зміцнення дозволяє забезпечити процес самозагострення леза шляхом поступового зменшення зносостійкості нижніх шарів леза.

Методом виробничих випробувань за результатами лінійного зношення крил експериментальних культиваторних лап визначено порошковий матеріал, який забезпечує найкращі показники проти абразивного зношення.

Приведено математичні і графічні залежності лінійного і вагового зношення експериментальних культиваторних лап від наробітку і використання порошкового матеріалу під час їх зміцнення.

Аналіз отриманих графічних залежностей порівняльних випробувань зміцнених і серійних лап показав, що за наробітку 55 га середнє вагове зношення зміцнених лап на 33% менше ніж серійних.

Встановлені математичні моделі дозволяють прогнозувати величини вагового і лінійного зношень в залежності від ресурсних показників серійних та зміцнених комбінованим методом культиваторних лап

Запропонований комбінований метод зміцнення дозволяє підвищити ресурс культиваторних лап на 35–45%.

Ключові слова: прогнозування, зношення, зміцнення, підвищення, ресурс, самозагострення, зносостійкість.

Постановка проблеми

В сільськогосподарському виробництві України наряду з вітчизняною ґрунтообробною технікою накопичена значна кількість ґрунтообробної техніки зарубіжного виробництва, яка широко використовується. Досвід використання цієї техніки вказує на її переваги в надійності та довговічності порівняно з вітчизняною, зокрема це стосується експлуатації робочих органів. Цього провідні зарубіжні фірми досягають за рахунок застосування нових технологій при виготовленні. Встановлено, що для досягнення підвищеного ресурсу робочих органів іноземні фірми-виготовлювачі використовують спеціальні легуючі матеріали, конструктивні особливості та технологічні прийоми зміцнення (термічна обробка, нанесення зносостійких матеріалів) [1]. Вартість таких деталей досить висока. Тому існує потреба в забезпеченні сільськогосподарського споживача відносно недорогими запасними частинами до ґрунтообробної техніки з підвищеною зносостійкістю [2-9].

Вирішення цього питання можливе шляхом створення конкурентоспроможних технологій зміцнення деталей вітчизняної та зарубіжної сільськогосподарської техніки при їх відновленні та виготовленні [10] для збільшення ресурсу цих деталей в декілька разів і впровадження даних розробок на підприємствах–виготовлювачах та на ремонтних підприємствах сільськогосподарської техніки.

Аналіз останніх досліджень

Покращення експлуатаційних характеристик робочих органів, зокрема лап культиваторів, є актуальною задачею в сільськогосподарському виробництві. Цього можна досягти шляхом створення нових технологій виготовлення та зміцнення робочих органів, використання при цьому нових матеріалів. Зокрема перспективним є розвиток технологій із застосуванням для зміцнення різальної кромки порошкових матеріалів, що дозволяє підвищити фізико-механічні властивості нанесених шарів [11].

До способів, які найбільш часто використовуються для зміцнення робочих поверхонь деталей відноситься звичайне гартування середньовуглецевих, високовуглецевих та легованих сталей. При цьому твердість металу можна отримати в межах 45 HRC для сталі 45 і до 65 HRC для сталі 65Г та легованих сталей. Але зносостійкість таких робочих органів нижча порівняно з іншими, зміцненими спеціальними матеріалами [13, 14].

Для локального зміцнення поверхні деталі в місцях ймовірного зношення доцільно використовувати інші методи, а саме, електродугове наплавлення штучними електродами чи порошковими дротами, наплавлення порошковими матеріалами на установках СВЧ, плазмове та газополуменеве наплавлення порошками, прутками [15, 16].

Електродугове наплавлення і штучними електродами і дротами може бути як суцільним по всій поверхні, так і точковим. Дослідженнями [17-19] встановлено, що точкове наплавлення краще зарекомендувало себе з робочої сторони, при цьому незначно збільшуючи опір, що в достатній мірі захищає від зношення основного шару металу.

Мета досліджень

Підвищення ресурсних показників культиваторних лап при використанні комбінованого методу зміцнення.

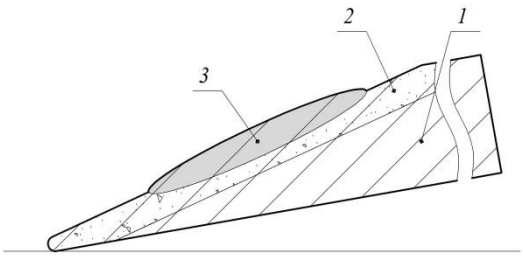
Результати досліджень

Одним із шляхів вирішення поставленої проблеми є напрям підвищення ресурсу культиваторних лап завдяки комбінованому тришаровому формуванню їх робочих поверхонь, а саме (рис. 1):

1 – основа – сталь 65 Г;

2 – загартований шар сталі 65 Г на товщину 1,9 – 2,3 мм з використанням електроконтактного методу загострення і зміцнення [17], при цьому отримуємо твердий шар зносостійкість якого становить 3,48 відносно незагартованої сталі 65 Г;

3 – додаткове зміцнення, що виконується поверх загартованого шару порошковими абразивностійкими матеріалами, які наплавлені спеціальним електродом Т–590 Ø5х450 мм, зносостійкість такого шару становить 4,49 відносно незагартованої сталі 65 Г.



1 – основа – сталь 65 Г; 2 – зона електроконтактного загострення і зміцнення; 3 – зона зміцнення порошковими абразивностійкими матеріалами

Рис. 1. Схема комбінованого зміцнення леза культиваторних лап.

Fig. 1. Scheme of combined strengthening of the blade of cultivator paws.

В якості порошкових абразивностійких матеріалів використовували порошки ПС-12НВК-01, ПГ-10К-01, сормайт, ФХБ-1, ПТ-НА-01, ПГ-19М-01.

За розробленою технологією в ННЦ «ІМЕСГ» проведено зміцнення комплекту культиваторних лап з шириною захвату 420 мм (рис. 1).

Виготовлені та зміцненні культиваторні лапи були встановлені на культиватор КВАНТ-12 з шириною захвату 12 м, який виготовлений в ННЦ «ІМЕСГ» і пройшли випробування у виробничих умовах ПП «Агроекологія» Полтавської обл., Шишацького району. (рис. 2).

Рис. 2. Загальний вигляд зміцнених культиваторних лап за розробленою технологією

Fig. 2. General view of strengthened cultivator paws by the developed technology

Для визначення зміни геометричних параметрів лез культиваторних лап під час виробничих випробувань реєстрували лінійне зношення, вагове зношення та радіус заокруглення ріжучої кромки робочих органи з наробітком 8, 23, 42 та 55 га.

За результатами лінійного зношення крил експериментальних культиваторних лап під час виробничих випробувань визначено матеріали, які забезпечують найкращі показники проти абразивного зношення.

В результаті аналізу культиваторних лап з наробітком 55 га встановлено, що робочі органи не мають видимих пошкоджень та граничного зношення і придатні для подальшого використання. При цьому, вимірами встановлено, що величина зношень за шириною леза становить 5.3 – 11,9 мм (рис. 3).

Рис. 3. Культиватор КВАНТ-12, укомплектований зміцненими культиваторними лапами

Fig. 3. Cultivator KVANT-12, equipped with strengthened cultivator paws

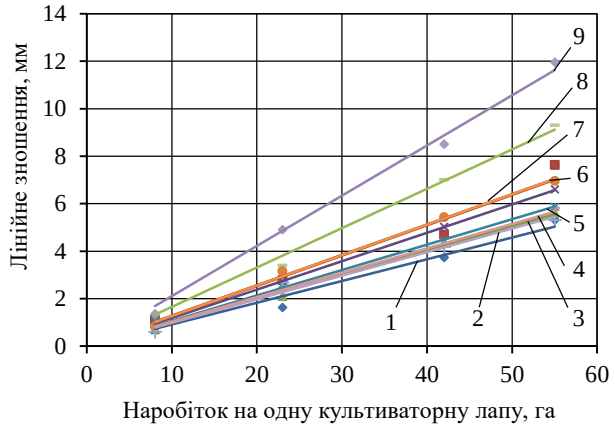
Встановлено, що найкращі результати зносостійкості показав порошковий матеріал ПС-12НВК-01 нанесений дуговим наплавленням електродом Т-590 Ø5х450 мм і описується наступною залежністю:

$$y = 0,085 \cdot x - 0,059, \quad (1)$$

де y – величина лінійного зношення леза культиваторної лапи, мм;

x – наробіток на одну лапу культиватора, га.

Результати проведених порівняльних випробувань вагового зношення зміцнених і серійних лап показали, що за наробітку 55 га зміцнених лап, середнє вагове зношення становить 425 г. Наробіток серійних лапи за такого зношення становить 43 га, що на 21,8 % менше зміцнених (рис. 4).



1 - ПС-12НВК-01 + Т-590; 2 - ПГ-10К-01 + Т-590; 3 - ФХБ-1 + Т-590; 4 - ПГ-10К-01 + Графітовий; 5 - Сормайт + Т-590; 6 - ПС-12НВК-01 + Графітовий; 7 - ФХБ-1 + Графітовий; 8 - Сормайт + Графітовий; 9 – Електроерозійна обробка;10 - Серійні культиваторні лапи КПЕ – 410.

Рис. 4. Залежність лінійного зношення лез від наробітку лап культиватора КВАНТ-12.

Fig. 4. Dependence of linear blade wear of operating time paws cultivator KVANT-12.

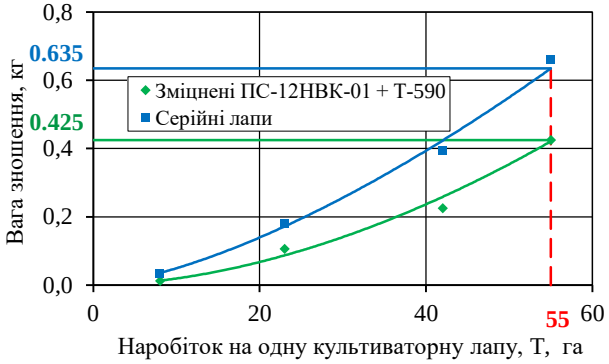


Рис. 5. Залежність вагового зношення лап культиватора КВАНТ-12 від наробітку.

Fig. 5. Dependence of weight wear of the cultivator KVANT-12 paws of operating time.

Після обробки отриманих результатів виробничих випробувань лап культиватора КВАНТ-12 отримали математичні моделі процесу вагового зношення серійних y_c і зміцнених $y_з$ лап в залежності від наробітку T:

$$y_c = 1.7 \cdot 10^{-3} \cdot T^{1.47}, \quad (2)$$

$$y_з = 3 \cdot 10^{-4} \cdot T^{1.8}, \quad (3)$$

де y_c, $y_з$ – відповідно вага зношеного матеріалу серійних і зміцнених культиваторних лап, кг;

T – наробіток на одну лапу культиватора, га.

Математичні моделі (2) і (3) дозволяють прогнозувати величину вагового зношення в залежності від ресурсних показників серійних та зміцнених комбінованим методом культиваторних лап і встановлено, що при досягненні вагового зношення 635 г зміцнених лап їх наробіток буде більший на 40% ніж серійних.

Запропонований метод зміцнення дозволяє підвищити ресурс культиваторних лап на 35–45%.

Висновки

1. Найкращі показники зносостійкості показав порошковий матеріал ПС-12НВК-01 нанесений електродом Т-590 після електроконтактного оброблення деталі, після наробітку 55 га величина зношень за шириною леза становить 5,3 мм, що на 43% менше ніж електроконтактне оброблення.

2. Результати проведених порівняльних випробувань зміцнених і серійних лап показали, що за наробітку 55 га середнє вагове зношення серійних лап становить 635 г, а зміцнених за розробленою технологією на 33% менше і становить 425 г. При досягненні вагового зношення 635 г зміцнених лап їх наробіток буде більший на 40% ніж серійних.

Список літератури

1. *Тюрева А. А., Козарез И. В., Дьяченко А. В.* Твердость лемехов компании Vogel & Noot. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. Брянск, 2016. № 3 (55). С. 60–65.

2. *Ерохин М. Н., Новиков В. С., Петровский Д. И.* К вопросу об импортозамещении рабочих органов зарубежных почвообрабатывающих машин. Труды ГОСНИТИ. Москва, 2015. Т. 121. С. 206–212.

3. *Виноградов В. В.* Восстановление и упрочнение стрельчатых лап почвообрабатывающих машин металлокерамическими материалами. Молодежь и XXI век - 2016: Материалы VI Международной молодежной научной конференции. Курск, 2016. С. 89–94.

4. *Коломейченко А. В., Титов Н. В., Виноградов В. В. и др.* Влияние керамических компонентов пасты на твердость упрочненных карбовибродуговым методом поверхностей. Труды ГОСНИТИ. Москва, 2015. Т.118. С. 140–145.

5. *Петровский Д. И., Вольф Н. В.* Теоретические основы создания высокоресурсного лемеха плуга. В сборнике: Инновационные технологии для АПК юга России. Майкоп, 2016. С. 86–90.

6. *Лебедев А. Т., Лебедев К. А., Магомедов Р. А. и др.* Повышение ресурса культиваторных лап. Научное обозрение. Москва, 2015. № 3. С. 50–57.

7. *Дудников А. А., Беловод А. И., Пасюта А. Г., Келемеш А. А., Горбенко А. В.* Технологические способы повышения долговечности и ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин. Машиноведение и Машиностроение. Технологический аудит и резервы производства. Харьков, 2015 № 5/1(25). С. 4–7.

8. *Михальченков А. М., Феськов С. А., Тюрева А. А. Методы* снижения интенсивности изнашивания стрельчатых лап культиваторов на стадии изготовления. Вестник АПК Верхневолжья. Ярославль, 2015. №3 (31). С. 79–82.

9. *Муртазин Г. Р., Зиганшин Б. Г., Яхин С. М*. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин. Техника и оборудование для села. Правдинский, 2015. № 10. С. 32–34.

10. *Скобло Т. С., Рыбалко И. Н., Тихонов А. В., Мартыненко А. Д.* Анализ способов изготовления, упрочнения и восстановления стрельчатых лап культиватора. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків, 2019. №15. С. 60–85.

11. *Кашфуллин А. М*. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин путем нанесения износостойких покрытий дуговой металлизацией: дис. … канд. наук: 05.20.03. Пермь, 2017. 131 с.

12. *Ожегов Н. М., Ружьев В. А., Капошко Д. А.* Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе совершенствования наплавочных технологий. Труды «ГОСНИТИ». Москва, 2015. С. 191–197.

13. *Слинко Д. Б., Варламова Л. Д., Некрасов Д. М.* Упрочнение рабочей поверхности лап культиваторов электродуговой наплавкой износостойкими валиками. Труды ГОСНИТИ. Москва, 2016. Т. 124 , № 2 .С. 118–124.

14. *Рябов В. В., Князюк Т. В., Михайлов М. С. и др.* Структура и свойства новых износостойких сталей для сельскохозяйственного машиностроения. Вопросы материаловедения. Санкт-Петербург, 2016. № 2. С. 7–19.

15. *Strebkov S., Slobodyuk A., Bondarev A., Sakhnov A.* Strengthening of cultivator paws with electrospark doping. engineering for rural development. Jelgava, 22.–24.05.2019. P. 549–554.

16. *Shakhov V., Ivanovs S., Uchkin P., Ushakov Y.* Studies in coatings for working bodies of deep-rippers recovered by plasma surfacing. Engineering for rural development. Jelgava, 22.-24.05.2019. P. 44–49

17. *Василенко М.О., Буслаєв Д.О.* Вплив режимів нанесення зміцнювального покриття на параметри точкового зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. Науково-теоретичний журнал Національної академії аграрних наук України. Вісник аграрної науки. Київ. 2015. №7. С. 44–48.

18. *Mank V., Tonkha O., Galimova V., Surovtsev S., Menshov O., Bukova O., Rogovskiy I.* Electrochemical investigation of cobalt absorbtion processes by soils of Ukraine. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv-Geology. Kyiv. 2019. Vol. 3 (86). P. 31−39. WoS.

19. *Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Haponenko O.I., Ohiienko M.M., Kulik V.P.* Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 60. No 1. P. 45−52. DOI: 10.35633/INMATEH-60-05. Scopus. WoS.

References

1. *Tyureva A. A., Kozarez I. V., Dyachenko A. V.* (2016). Hardness of the shares of Vogel & Noot. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. Bryansk. No 3 (55). 60–65.

2. *Erokhin M. N., Novikov V. S., Petrovsky D. I.* (2015). On the issue of import substitution of the working bodies of foreign tillage machines. Proceedings of GOSNITI. Moscow. Vol. 121. 206–212.

3. *Vinogradov V. V.* (2016). Restoration and hardening of lancet paws of tillage machines with cermet materials. Youth and XXI Century - 2016: Materials of the VI International Youth Scientific Conference. Kursk. 89–94.

4. *Kolomeychenko A. V., Titov N.V., Vinogradov V. V. et al.* (2015). The influence of ceramic components of the paste on the hardness of hardened carbovibroduct surfaces. Proceedings of GOSNITI. Moscow. Vol. 118. 140–145.

5. *Petrovsky D. I., Wolf N. V.* (2016). Theoretical foundations of creating a high-resource plow share. In the collection: Innovative technologies for the agricultural sector of the south of Russia. Maykop. 86–90.

6. *Lebedev A. T., Lebedev K. A., Magomedov R. A. et al.* (2015). Increasing the resource of cultivating paws. Scientific Review. Moscow. No. 3. 50–57.

7. *Dudnikov A. A., Belovod A. I., Pasyuta A. G., Kelemesh A. A., Gorbenko A. V.* (2015). Technological methods for increasing the durability and resource of working bodies of tillage machines. Engineering and Engineering. Technological audit and production reserves. Kharkov. No 5/1 (25). 4–7.

8. *Mikhalchenkov A. M., Feskov S. A., Tyureva A. A.* (2015). Methods for reducing the wear rate of lancet paws of cultivators at the manufacturing stage. Bulletin of the agricultural sector of the Upper Volga. Yaroslavl. No 3 (31). 79–82.

9. *Murtazin G. R., Ziganshin B. G., Yakhin S. M.* (2015). Increasing the resource of working bodies of tillage machines. Machinery and equipment for the village. Pravdinsky. No. 10. 32–34.

10. Skoblo T. S., Rybalko I. N., Tikhonov A. V., Martynenko A. D. (2019). Analysis of methods for manufacturing, hardening and restoring lancet paws of a cultivator. Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes. Kharkiv. No. 15. 60–85.

11. *Kashfullin A. M.* (2017). Increasing the resource of the working bodies of tillage machines by applying wear-resistant coatings by arc metallization: dis. ... cand. Sciences: 05.20.03. Perm. 131.

12. *Ozhegov N. M., Ruzhev V. A., Kaposhko D. A.* (2015). Increasing the resource of working bodies of tillage machines based on improving surfacing technologies. Proceedings of GOSNITI. Moscow. 191–197.

13. *Slinko D. B., Varlamova L. D., Nekrasov D. M.* (2016). Hardening of the working surface of the paws of cultivators by electric arc welding with wear-resistant rollers. Proceedings of GOSNITI. Moscow. Vol. 124, No. 2. 118–124.

14. *Ryabov V. V., Knyazyuk T. V., Mikhailov M. S. et al.* (2016). Structure and properties of new wear-resistant steels for agricultural engineering. Questions of materials science. St. Petersburg. No. 2. 7–19.

15. *Strebkov S., Slobodyuk A., Bondarev A., Sakhnov A.* (2019). Strengthening of cultivator paws with electrospark doping. engineering for rural development. Jelgava 22.-24.05.2019. 549–554.

16. *Shakhov V., Ivanovs S., Uchkin P., Ushakov Y.* (2019). Studies in coatings for working bodies of deep-rippers recovered by plasma surfacing. Engineering for rural development. Jelgava, 22.-24.05.2019. 44–49.

17. *Vasilenko M. O., Buslaiev D. O.* (2015). Influence of the modes of application of the hardening coating on the parameters of the point hardening of the working bodies of the tillage machines. Scientific-theoretical journal of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Bulletin of agrarian science. Kyiv. No. 7. 44–48.

18. *Mank V., Tonkha O., Galimova V., Surovtsev S., Menshov O., Bukova O., Rogovskiy I.* (2019). Electrochemical investigation of cobalt absorbtion processes by soils of Ukraine. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv-Geology. Kyiv. Vol. 3 (86). 31−39. WoS.

19. *Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Haponenko O.I., Ohiienko M.M., Kulik V.P.* (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. Vol. 60. No 1. 45−52. DOI: 10.35633/INMATEH-60-05. Scopus. WoS.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕСОВОГО И ЛИНЕЙНОГО ИЗНОСОВ ОТ РЕСУРСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРИЙНЫХ И УПРОЧНЕННЫХ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ КУЛЬТИВАТОРНЫХ ЛАП

М. А. Василенко, Д. А. Буслаев

Аннотация. Работа посвящена повышению ресурсных показателей культиваторных лап при использовании комбинированного метода укрепления. В статье приведена схема комбинированного трехслойного формирования лезвия культиваторных лап, которое обеспечивает повышение ресурсных показателей за счет нанесения порошковых абразивностойких материалов дуговой наплавкой. Такой метод упрочнения позволяет обеспечить процесс самозатачивания лезвия путем постепенного уменьшения износостойкости нижних слоев лезвия.

Методом производственных испытаний по результатам линейного износа крыльев экспериментальных культиваторных лап определено порошковый материал, который обеспечивает лучшие показатели против абразивного износа.

Приведены математические и графические зависимости линейного и весового износа экспериментальных культиваторных лап от наработки и использования порошкового материала при их упрочнении.

Анализ полученных графических зависимостей сравнительных испытаний упрочненных и серийных лап показал, что при ресурсе 55 га средний весовой износ упрочненных лап на 33% меньше чем серийных.

Установленные математические модели позволяют прогнозировать величины весового и линейного износов в зависимости от ресурсных показателей серийных и упрочненных комбинированным методом культиваторных лап

Предложенный комбинированный метод упрочнения позволяет повысить ресурс культиваторных лап на 35-45%.

Ключевые слова: прогнозирование, износ, упрочнение, повышение, ресурс, самозаострение, износостойкость.

MATHEMATICAL MODELS FOR PREDICTING WEIGHT AND LINEAR WEAR FROM RESOURCE INDICATORS SERIAL AND HARDENED BY COMBINED METHOD OF CULTIVATOR PAWS

M. O. Vasylenko, D. O. Buslaiev

Abstract. The work is devoted to increasing the resource indicators of cultivator paws when using the combined method of strengthening. The article provides a diagram of the combined three-layer formation of the blades of cultivator paws, which provides an increase in resource indicators due to the application of powder abrasion-resistant materials by arc surfacing. This method of hardening allows you to ensure the process of self-sharpening the blade by gradually reducing the wear resistance of the lower layers of the blade.

By the method of production tests according to the results of linear wear of the wings of experimental cultivating paws a powder material has been identified that provides the best performance against abrasion.

Mathematical and graphical dependences of linear and weight wear of experimental cultivator paws on the operating time and use of powder material during their hardening are given.

An analysis of the obtained graphical dependencies of comparative tests of hardened and serial paws showed that with a resource of 55 ha, the average weight wear of hardened paws is 33% less than the serial ones.

The established mathematical models make it possible to predict the values of weight and linear wear depending on the resource indicators of serial and hardened cultivator paws strengthened by the combined method

The proposed combined method of hardening allows to increase the resource of cultivating paws by 35-45%.

Key words: forecasting, wear, hardening, increase, resource, self-sharpening, wear resistance.

М. О. Василенко ORCID iD 0000-0002-5240-7000.
Д. О. Буслаєв ORCID iD 0000-0003-2535-7420.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 35-40*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.035-040

УДК 631.31:621.891

ВПЛИВ СТУПЕНЯ ЗАКРІПЛЕННЯ АБРАЗИВНОЇ ЧАСТИНКИ НА МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

К. В. Борак

Житомирський агротехнічний коледж, Україна.

Стаття з спеціальності: 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Кореспонденція автора: koss1983@meta.ua.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 12, рис. 3, табл. 1.

Анотація. При роботі деталей машин в складному гетерогенному середовищі (ґрунті) на поверхні тертя відбуваються складні процеси: механічні, хімічні, фізичні та термічні. Співвідношення між інтенсивністю протікання даних процесів визначає механізм абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин. В переважній більшості випадків інтенсивність протікання механічних процесів, при взаємодії поверхні робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом, переважає інтенсивність протікання всіх інших процесів разом взятих. Один з основних факторів, який впливає на інтенсивність протікання механічних процесів в зоні фрикційного контакту між ґрунтом і поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин є ступінь закріплення абразивної частинки.

В роботі теоретично встановлено вплив ступеня закріплення абразивної частинки в ґрунті на механізм абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин. Зі збільшенням ступеня закріплення абразивної частинки зростає площа та глибина пластичної деформації та підвищується ймовірність виникнення відокремлення металу (мікрорізання) з поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

Експлуатаційні дослідження проводили на супіщаних ґрунтах в умовах Овруцького району Житомирської області. Для досліджень використовували універсальний дисковий агрегат УДА-4,5, робочі органи якого були виготовлені зі сталі 65Г. У процесі експлуатації спостерігалося суттєве зменшення слідів мікрорізання на поверхні тертя при зменшенні ступеня закріплення абразивної частинки. Експлуатаційні дослідження в повній мірі підтверджують теоретичні твердження.

Ключові слова: робочий орган, ґрунтообробна машина, абразивна частинка, ґрунт, поверхня, механізм зношування.

Постановка проблеми

В процесі абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин на поверхні тертя протікають механічні, фізичні, хімічні та термічні процеси. Співвідношення між цими процесами визначають інтенсивність абразивного зношування. В результаті раніше проведених досліджень [1, 2, 3, 4, 5] встановлено, що при зношуванні робочих органів ґрунтообробних машин механічні процеси на поверхні тертя переважають над іншими і визначають механізм та інтенсивність зношування. Вибір матеріалу робочих органів ґрунтообробних машин повинен ґрунтуватися на властивостях ґрунтового середовища, що будуть визначати механізм абразивного зношування [6]. Один з основних чинників, що визначає механізм абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин є ступінь закріплення абразивної частинки в ґрунті. Тому дослідження впливу ступеня закріплення абразивної частинки на механізм зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин, є беззаперечно актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень

Вивчення механізму абразивного зношування при переміщені деталей в абразивній масі в різний час займалися Северньов М.М., Ткачев В.М., Тененбаум М.М., Крагельский І.В. Костецкий Б.І., Дворук В.І., Аулін В.В. [7] та інші.

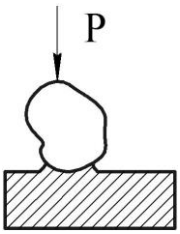
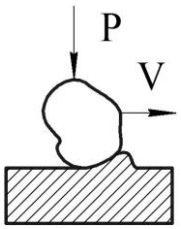
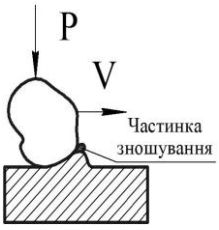
Северньов М.М. пропонує розглядати ґрунт, як тверде тіло з доволі шорсткою поверхнею, що є не коректним і не дозволить об’єктивно описати процеси на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин при абразивному зношуванні. Поверхня робочих органів ґрунтообробних машин взаємодії з абразивними частиками, які переміщуються по всьому шарі ґрунтової маси, що призводить до зміни фактичної площі контакту та «шорсткості» абразивної маси протягом всього часу абразивного зношування.

Процес зношування металевої поверхні деталей машин, які працюють в абразивній масі, в більшості випадків розглядається з точки зору взаємодії з жорстко закріпленою абразивною частинкою. Відповідно до «молекулярно-механічної» теорії

механізм абразивного зношування складається з 3 етапів [8], які представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Принципова схема руйнування матеріалів при абразивному зношуванні [7].

Table 1. Schematic diagram of the destruction of materials in abrasive wear [7].

Етапи руйнування поверхні		Опис процесу
1. Проникнення абразивної частинки		1. Взаємодія абразивної частинки з поверхнею. 2. Локальне пружно-пластичне відтискування поверхневого шару металу з утворенням навалок.
2. Переміщення абразивної частинки		1. Зародження і ріст мікротріщень. 2. Зародження і ріст мікротріщин. 3. Відрив поверхневого шару від основної частини металу.
3. Відокремлення частинки зносу		1. Утворення валика з деформованого матеріалу. 2. Пластичне відтискування валика абразивною частинкою. 3. Зріз металу і утворення частинки зносу.

Викликає сумнів окреме протікання першого і другого етапів руйнування матеріалів при абразивному зношуванні робочих органів в ґрунті. Більш ймовірним при зношуванні робочих органів ґрунтообробних машин є протікання одночасно першого і другого етапів де процес проникнення і переміщення відбувається одночасно про, що може свідчити зміна ширини і глибини одиничної канавки на поверхні робочих органів.

При абразивному зношування робочих органів ґрунтообробних машин перед виникненням першого етапу можливе протікання і інших етапів, які можуть як зміцнювати робочу поверхню (наклеп частинками, які не можуть проникати в поверхня і-за багатьох факторів) так і знижувати абразивну зносостійкість (взаємодія з патокою коріння, яка містить гліцин і аспірин, які сприяють окислювальному розчиненню сталі [9]).

Процес відокремлення металу з поверхні робочих органів ґрунтообробних машин представлений в таблиці 1 можливий при:

- твердості абразивної частинки не менше 6,5 одиниць по Моосу;
- закріпленості абразивної частинки;
- наявності гострих виступів в абразивної частинки;
- тиску на абразивну частину, який дозволить даній частинці проникати в поверхню металу.

Тому дану схему руйнування матеріалів при абразивному зношуванні (табл. 1) робочих органів ґрунтообробних машин можна віднести тільки до одного конкретного випадку.

Костецький Б.І. абразивний знос поділяв на дві форми: з переважанням механохімічного руйнування та з переважанням механічного руйнування. Він вважав, що форму абразивного зношування визначає співвідношення механічних властивостей абразивних частинок і поверхневих шарів металу. В даному твердженні неврахована можливість зміни форми абразивного зношування в залежності від ступеня фіксації абразивної частинки в абразивній масі.

Один з основних показників, який визначає механізм протікання абразивного зношування є ступінь закріплення абразивної частинки [10-12], саме тому необхідно провести дослідження по визначенню впливу ступеня закріпленості абразивної частинки на механізм абразивного зношування.

Мета досліджень

Мета даної роботи полягає у визначені впливу ступеня закріплення абразивних частинок в ґрунті на механізм абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

Результати досліджень

При експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин в розпушеній ґрунтовій масі (передпосівний обробіток, боронування в два сліди і т.д.) виникає ймовірність взаємодії поверхні робочих органів ґрунтообробних машин з незакріпленими абразивними частинками (рис. 1).

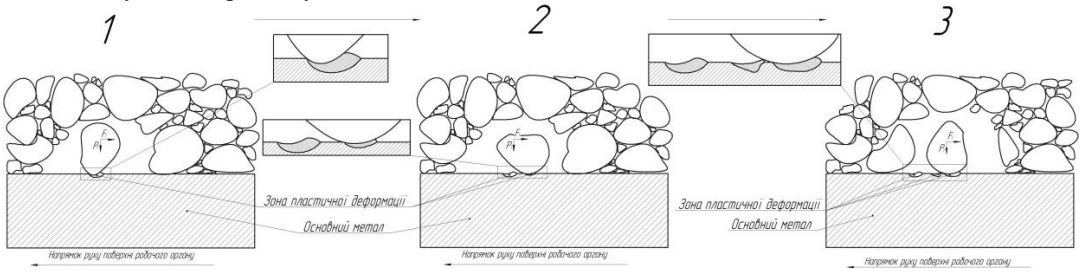


Рис. 1. Взаємодія поверхні робочих органів ґрунтообробних машин з не закріпленою абразивною частинкою.

Fig. 1. Interaction of the surface of the working bodies of the tillage machines with the non-fixed abrasive part.

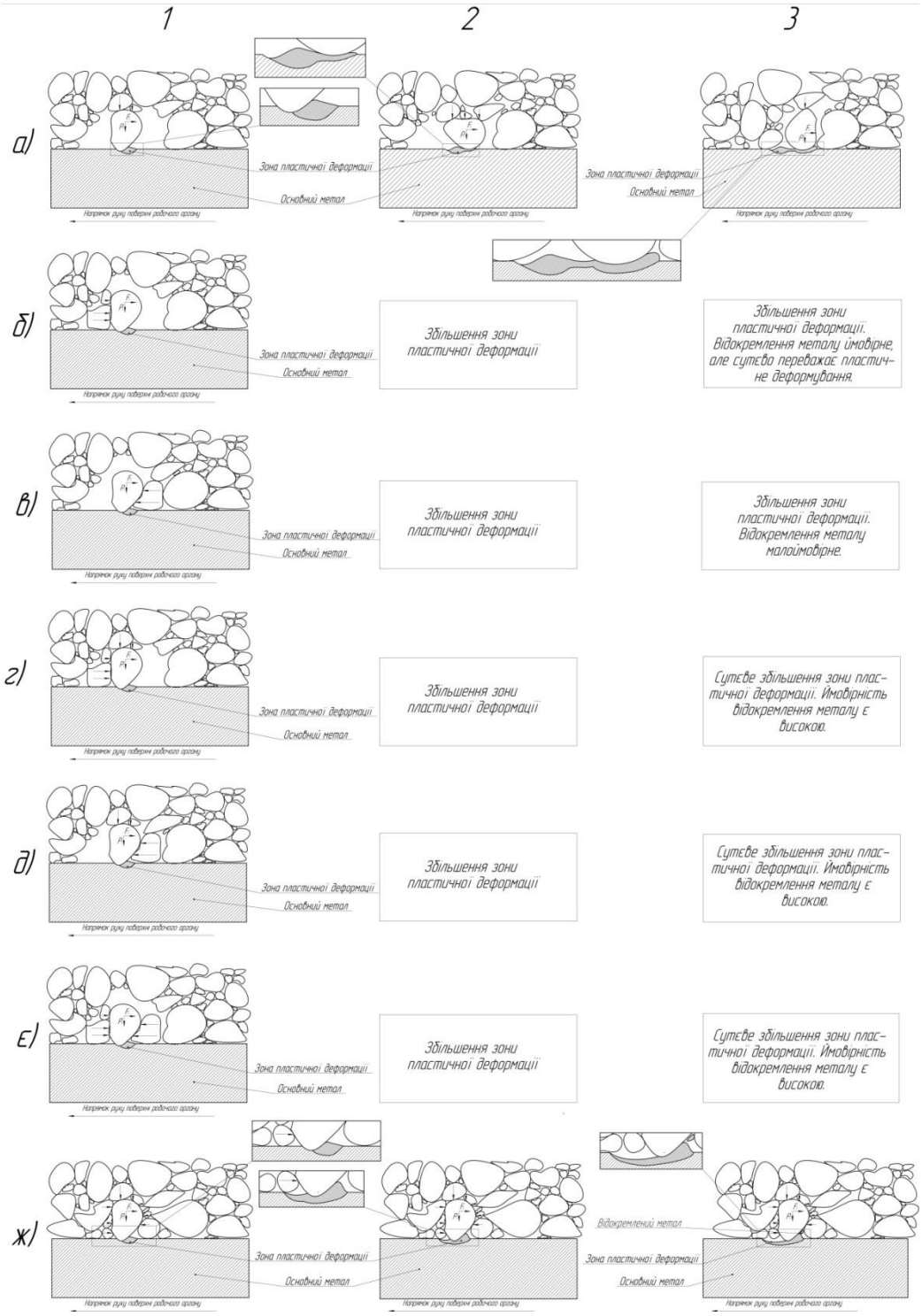


Рис. 2. Взаємодія абразивної частинки з поверхнею робочих органів в залежності від варіанту закріплення абразивної частинки в ґрунті: *а* – абразивна частинка закріплена з однієї сторони (згори); *б* – абразивна частинка закріплена з однієї сторони (за напрямком руху); *в* – абразивна частинка закріплена з однієї сторони (проти напрямку руху); *г* – абразивна частинка закріплена з двох сторін зверху та за напрямком руху; *д* – абразивна частинка закріплена з двох сторін зверху та проти напрямком руху; *є* – абразивна частинка закріплена з двох сторін за напрямком та проти напрямком руху; *ж* – абразивна частинка закріплена з трьох сторін (жорстко).

Fig. 2. The interaction of the abrasive particle with the surface of the working bodies, depending on the variant of fixing the abrasive particle in the soil: *а* – abrasive particle is fixed on one side (from above); *б* – abrasive particle fixed on one side (in the direction of motion); *в* – abrasive particle fixed on one side (against the direction of motion); *г* – is an abrasive particle fixed on both sides from above and in the direction of movement; *д* – abrasive particle fixed on both sides from above and against the direction of movement; *є* – an abrasive particle fixed on both sides in the direction and in the direction of movement; *ж* – an abrasive particle fixed on three sides (rigidly).

При взаємодії незакріплених абразивних частинок з поверхнею робочого органу (рис. 1) можливо протікання двох видів тертя: кочення з проковзуванням та тертя ковзання. На поверхні тертя відбувається пластична деформація поверхні металу, зношування поверхні носить втомлювальних характер. Величина пластичної деформації залежить від площі контакту між абразивною частинкою та поверхнею робочих органів, що в свою чергу залежить від форми абразивної частинки. Ймовірність взаємодії поверхні робочих органів ґрунтообробних машин з «вільними» абразивними частинка невисока, більш ймовірним є різні варіанти фіксації абразивних частинок представлених на рис. 2.

Виникнення пластичної деформації на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин спостерігається при всіх варіантах закріплення абразивної частинки, величина пластичної деформації залежить від ступеня закріпленості абразивної частинки, тиску на абразивну частинки та фактичної площі фрикційного контакту (рис. 2). Відокремлення металу (мікрорізання) на пряму залежить від ступеня закріплення абразивної частинки в ґрунті, чим більша ступінь закріплення абразивної частинки ти вище ймовірність відокремлення металу. Слід відмітити, що дане твердження справедливе при умові, що твердість абразивної частинки буде дорівнювати або буде більша за твердість поверхні металу.

Ймовірність виникнення процесу мікрорізання металу також на пряму залежить від коефіцієнта форми та тиску на абразивну частику. Так як, всі ці фактори незалежні тому ймовірність виникнення процесу мікрорізання на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин можна описати залежністю:

$$P(Мікр.)=P(Т)+P(С.З.)+P(К.Ф.)+P(Р) \quad (1)$$

де P(Мікр.) – ймовірність зняття металу (мікрорізання) з поверхні робочих органів ґрунтообробних машин в результаті взаємодії з ґрунтовим середовищем; P(Т) – ймовірність взаємодії з абразивною частинкою твердістю рівною або більшою за твердість поверхні робочих органів ґрунтообробних машин; P(К.Ф.) – ймовірність взаємодії з абразивною частинкою форма якої може призвести до процесу мікрорізання; P(Р) – ймовірність виникнення тиску, що призведе до проникнення абразивної частики в поверхню робочих органів ґрунтообробних машин. Як бачимо з залежності 1 виникнення процесу мікрорізання залежить від збігу несприятливих факторів абразивного зношування в процесі експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин.

В умовах жорстко закріплених абразивних частинок (рис 2, ж) та закріплені абразивної частинки з двох сторін (рис 2, є) на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин спостерігається тільки тертя ковзання. В усіх інших випадках (рис. 2, а-д) на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин можемо спостерігати два види тертя: тертя ковзання та тертя кочення з проковзуванням.

При реальній експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин абразивна частинка, яка взаємодіє з поверхнею робочих органів, може змінювати варіанти закріплення і по різному впливати на поверхню робочого органу в різний момент часу .

Для підтвердження теоретичних досліджень були проведені експериментальні дослідження на супіщаних ґрунтах в Овруцькому районі, Житомирської області. Дослідження проводили на універсальному дисковому агрегаті УДА 4,5 в осінній період 2017 року. Робочі органи були виготовлені зі сталі 65Г. Експлуатацію дискового агрегату проводили при трьох різних ступенях фіксації абразивної частинки:

1. Ділянка після озимої пшениці;
2. Ділянка після озимої пшениці, повторне боронування на 2 день після першого обробітку;
3. Ділянка після озимої пшениці, повторне боронування на 21 день після першого обробітку.

В результаті досліджень з'ясовано, що при експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин на ділянках поля де абразивні частинки мають вищу ступінь фіксації ймовірність виникнення процесу мікрорізання значно вища (рис. 3).

а) *б*)

Рис. 3. Поверхня робочих органів ґрунтообробних машин після експлуатації: *а* – на ділянці поля після озимої пшениці; *б* – на ділянці поля після озимої пшениці, повторне боронування на 2 день після першого обробітку.

Fig. 3. Surface of working bodies of soil tillage machines after operation: a – on the field of field after winter wheat; б – in the field after winter wheat, re-harrowing for 2 days after the first cultivation.

Як бачимо з рис. 3 при зношуванні в незакріпленій абразивній масі відсутні сліди мікрорізання, на відміну від зношування в ґрунтовій масі де абразивні частинки знаходилися в закріпленому стані. Поверхня тертя при зношуванні незакріпленим абразивом має вигляд відполірованої поверхні, що свідчить про переважання пластичної деформації в зоні фрикційного контакту (рис. 3, б).

Висновки

1. В роботі теоретично встановлено механізм зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин в залежності від варіантів закріплення абразивної частинки в ґрунті.

2. Встановлено, що зі збільшенням ступеню закріплення абразивної частинки зростає об'єми металу, які піддаються пластичній деформації та збільшується ймовірність протікання негативних явищ (мікрорізання) на поверхні тертя.

3. Результати експлуатаційних досліджень підтвердили теоретичні дослідження впливу ступеня закріплення абразивної частинки ґрунту на механізм зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

Список літератури

1. *Perez G. W., Gonzalez H., Toro A.* Abrasive wear of rotary plow blades in a sandy loams soil. *Dyna rev.fac.nac.minas [online]*. 2010. Vol. 77. № 162. P. 105-114.

2. *Gonzalez H., Cappelli N., Toro A.* Wear of rotary plows operating in a tropical clay loam soil. *Engenharia Agrícola*. 2013. Vol. 33, № 4: URL: https:// doi. org/10.1590/S0100-69162013000400017.

3. *Myalenko V. I.* Prediction of the Expected Wear Resistance of Soil-Cutting Elements by the Simulation Loading Method. *Journal of Physics: Conference. Series*. IX International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering" 24–26 May 2018, Yurga, Russian Federation. Vol. 1059: URL: doi :10.1088/1742-6596/1059/1/012022.

4. *Moore M. A.* Abrasive wear by soil. *Tribology International.* 1975. Vol. 8, № 3. P. 105-110: URL: https://doi.org/10.1016/0301-679X(75)90027-4.

5. *Hoormazdi G., Küpferle J., Röttger A., Theisen W., Hack K.* A Concept for the Estimation of Soil-Tool Abrasive Wear Using ASTM-G65 Test Data. *International Journal of Civil Engineering*. 2019. № 17. P. 103-111: URL: https://doi.org/10.1007/s40999-018-0333-9.

6. *Napiórkowski J., Lemecha M., Konat Ł.* Forecasting the Wear of Operating Parts in an Abrasive Soil Mass Using the Holm-Archard Model. *Materials*. 2019. Vol. 12, № 2180: URL: doi:10.3390/ma12132180.

7. *Аулін В. В.* Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки : Дисертація д-ра техн. наук : 05.02.04. Хмельницький, 2015. 360 с.

8. *Меделяев И. А., Албагачиев А. Ю., Сорокин Г. М.* Физическая природа разрушения материалов при абразивном изнашивании. *Трение и износ*. 2004. Том 25, № 2. С. 148-154.

9. *Огородникова Н. П.* Химическое взаимодействие металлов – меди, железа и марганца с α- и β-аминокислотами в водных и органических средах : автореферат дис. на соиск. науч. ст. канд. хим. наук : 02.00.04. Ростов-на-Дону, 2010. 24 с.

10. *Mank V., Tonkha O., Galimova V., Surovtsev S., Menshov O., Bukova O., Rogovskiy I.* Electrochemical investigation of cobalt absorbtion processes by soils of Ukraine. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv-Geology. Kyiv. 2019. Vol. 3 (86). P. 31−39. WoS.

11. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohiienko M. M., Kulik V. P.* Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 60. No 1. P. 45−52. DOI: 10.35633/INMATEH-60-05. Scopus. WoS.

12. *Роговський І. Л.* Алгоритмічність визначення періодичності відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 1. P. 155-162. DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.155-162.

References

1. *Perez, G. W., Gonzalez, H., Toro, A.* (2010). Abrasive wear of rotary plow blades in a sandy loams soil. Dyna rev.fac.nac.minas [online]. Vol.77, № 162, 105-114.

2. *Gonzalez, H., Cappelli, N., Toro, A.* (2013). Wear of rotary plows operating in a tropical clay loam soil. Engenharia Agrícola. Vol. 33, № 4. URL: https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000400017.

3. *Myalenko, V. I.* (2018). Prediction of the Expected Wear Resistance of Soil-Cutting Elements by the Simulation Loading Method. Journal of Physics: Conference. Series. IX International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering". Vol. 1059: URL: doi :10.1088/1742-6596/1059/1/012022.

4. *Moore, M. A.* (1975). Abrasive wear by soil. Tribology International. Vol. 8, № 3, 105-110. URL: https://doi.org/10.1016/0301-679X(75)90027-4.

5. *Hoormazdi, G., Küpferle, J., Röttger, A., Theisen, W., Hack, K.* (2019). Concept for the Estimation of Soil-Tool Abrasive Wear Using ASTM-G65 Test Data. International Journal of Civil Engineering. № 17, 103-111. URL: https://doi.org/10.1007/s40999-018-0333-9.

6. *Napiorkowski, J., Lemecha, M., Konat, L.* (2019). Forecasting the Wear of Operating Parts in an Abrasive Soil Mass Using the Holm-Archard Model. Materials. Vol. 12, № 2180: URL: doi:10.3390/ma12132180.

7. *Aulin, V. V.* (2015). [Tribophysical bases of wearproofness of details and working organs of agricultural technique increasing. (Doctoral dissertation). Khmelnytskyi, Hmelnytskyi natsionalnyi universytet, 360.

8. *Medelyaev I. A., Albagachiev A. Y., Sorokin G. M.* (2004). Fizicheskaya priroda razrusheniya materialov pri abrazivnom iznashivanii. Trenie i iznos, 25, 148-154.

9. *Ogorodnikova N. P.* (2010). Ximicheskoe vzaimodejstvie metallov – medi, zheleza i margancza s α- i β-aminokislotami v vodny`x i organicheskix sredax . (Master's thesis). Rostov-na-Donu.

10. *Mank V., Tonkha O., Galimova V., Surovtsev S., Menshov O., Bukova O., Rogovskiy I.* (2019). Electrochemical investigation of cobalt absorbtion processes by soils of Ukraine. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv-Geology. Kyiv. Vol. 3 (86). 31−39. WoS.

11. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Haponenko O. I., Ohiienko M. M., Kulik V. P.* (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. Vol. 60. No 1. 45−52. DOI: 10.35633/INMATEH-60-05. Scopus. WoS.

12. *Rogovskii I. L.* (2020). Algorithmicly determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 11. No 1. 155-162. DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.155-162.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАКРЕПЛЕНИЕ АБРАЗИВНОЙ ЧАСТИЦЫ НА МЕХАНИЗМ ИЗНОСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

К. В. Борак

Аннотация. При работе деталей машин в сложной гетерогенной среде (почве) на поверхности трения происходят сложные процессы: механические, химические, физические и термические. Соотношение между интенсивностью протекания данных процессов определяет механизм абразивного износа поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин. В подавляющем большинстве случаев интенсивность протекания механических процессов при взаимодействии поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин с почвой, преобладает над интенсивностью протекания всех других процессов вместе взятых. Один из основных факторов, который влияет на интенсивность протекания механических процессов в зоне фрикционного контакта между почвой и поверхностью рабочих органов почвообрабатывающих машин является степень закрепления абразивной частицы.

В работе теоретически установлено влияние степени закрепления абразивной частицы в почве на механизм абразивного износа поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин. С увеличением степени закрепления абразивной частицы растет площадь и глубина пластической деформации и повышается вероятность возникновения отделения металла (микрорезания) с поверхности рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Эксплуатационные исследования проводили на супесчаных почвах в условиях Овручского района Житомирской области. Для исследований использовали универсальный дисковый агрегат УДА-4,5, рабочие органы которого были изготовлены из стали 65Г. В процессе эксплуатации наблюдалось существенное уменьшение следов микрорезания на поверхности трения при уменьшении степени закрепления абразивной частицы. Эксплуатационные исследования в полной мере подтверждают теоретические утверждения.

Ключевые слова: рабочий орган, почвообрабатывающая машина, абразивная частица, почва, поверхность, механизм износа.

INFLUENCE OF DEGREE OF ABRASIVE PARTICLE CLINGING TO WEAR MECHANISM OF SOIL-CULTIVATING MACHINES OPERATIONAL MECHANISMS

K. V. Borak

Abstract. While the machine parts operate in the composite heterogeneous environment (soil), the following complex processes occur on the friction surface: mechanical, chemical, physical, and thermal. The ratio between the intensity of these processes defines the mechanism of abrasive wear of the surface of the soil-cultivating machines operational mechanisms. In the overwhelming majority of cases, while the soil-cultivating machines operational mechanisms interact with the soil, the intensity of mechanical processes prevails over the intensity of all other processes combined. One of the main factors influencing the intensity of mechanical processes in the area of friction contact between the ground and the surface of soil-cultivating machines operational mechanisms is the degree of an abrasive particle clinging.

The influence of the degree of an abrasive particle clinging in the soil to the mechanism of abrasive wear of the surface of the soil-cultivating machines operational mechanisms is theoretically determined. As the degree of an abrasive particle clinging increases, the area and depth of plastic deformation enlarge, and the probability of metal separation (micro-cutting) from the surface of the soil-cultivating machines operational mechanisms increases.

Field explorations were carried out on sandy soils within the Ovruch district of the Zhytomyr region. UDA-4.5 universal disc unit, the operational mechanisms of which were made of 65H steel, was used for the explorations. During the explorations, a considerable limitation of micro-cutting signs on the friction surface, as well as reduction of the degree of an abrasive particle clinging were noticed. Field explorations completely confirm theoretical statements.

Key words: operational mechanism, soil-cultivating machine, abrasive particle, soil, surface, wear mechanism.

К. В. Борак ORCID 0000-0002-5611-4707.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 41-48*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.041-048

УДК 621:664: 669.01(075)

RESEARCH OF VIBROACOUSTIC METHOD OF TECHNICAL CONDITION CONTROL OF DIESEL ENGINE OF COMBINE HARVESTERS FOR DETECTION OF DEFECTS APPEARANCE

D. I. Martyniuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Ukraine.

Speciality of article: 133 – industry engineering.

Corresponding author: martyniuk94dima@gmail.com.

Article history: Received – January 2020, Accepted – April 2020.
Bibl. 16, fig. 6, tabl. 1.

Abstract. The authors research the vibroacoustic method of technical condition monitoring the diesel engine of combine harvesters as result of analysis of propagating elastic vibrations through the block and details interaction. Therefore, the authors solved the problem of this method – the detection of vibrating acoustic signal caused by interaction of details of studied kinematic pair. The decision took into account that increase in number of cylinders of engine leads to increase in density of vibration pulses per phase space unit, so cycle of operation of combine harvesters' diesel engine was estimated by angle of rotation of crankshaft. Therefore, it is established that only phase space of gas distribution mechanism is filled with vibration pulses, that it is impossible to determine the technical state of the i-th connection of this mechanism by one parameter. To improve the accuracy of diagnosis, the authors considered the nature of oscillations in combine harvester engine. Engine work is characterized by the fact that workflows in different sections pass at different periods of time, so they use temporary selection to distinguish the vibrational process associated with work of single section or single element of one section. The impact of fluctuation of engine is impulsive, caused by high rate of increased pressure in combustion chamber, by transfer of pistons and processes of fuel injection. Therefore, changes in moment of fuel injection, malfunction of gas distribution mechanism, wearing of piston rings and increasing in gap between piston and sleeve are related to operation of these mechanisms, so the pulses shift in phase, their amplitude and duration change and new pulses appear. At the same time there are several factors that cause some kind of complication of vibroacoustic signal. For engines with more than 5 cylinders, signal timing (overlapping) and imbalance of parts during rotation causes appearance of 606.5 Hz frequency spectrum.

Key words: vibration signal; defect; amplitude; fluctuation; engine.

Introduction

The vibroacoustic method of control of the technical state of the mechanisms of tractors and cars and their power plants is based on the analysis of elastic oscillations propagating on the frame and parts, as a result of the interaction of the latter [1]. In this regard, one of the main tasks of this method is the distribution of signals [2], that is, the detection of vibroacoustic signal caused by the impact of the details of the studied kinematic pair [3].

Formulation of problem

Currently, a fairly wide range of methods and means of diagnosing the technical condition of the main units and mechanisms of tractors, including the internal-combustion engine (ICE) is used [4]. The new systems of maintenance, repair and means of technical diagnostics of machine units have been created [5]. One of the directions in the field of machine operation for today remains the task of increasing the reliability of the engine [6], through a comprehensive assessment of the condition of the units based on the temporary collection of diagnostic parameters [7].

Analysis of recent research results

The possibility of detecting faults at the initial stages of their emergence at relatively small labor and material costs determine the perspective of diagnosing of ICE by vibration signals [8]. Ensuring the predicted reliability of the conclusions regarding the state of mechanisms and systems, it can be achieved by using a statistical evaluation of the conformity of temporal frequency fragments of vibroacoustic signals and their conformity to the frequency of rotation of the crankshaft [9]. The use of modern compact measuring modules with low energy costs provides a possibility of designing and production of diagnostic devices in mobile execution, for installation directly on the tool during testing [10]. Thus, research

aimed at developing a methodology for diagnosing mechanisms and systems based on the evaluation of vibroacoustic signals generated in the case of ICE during operation, as a method of control is quite relevant for agriculture [11]. Moving machine parts in contact with each other generate vibrations and sounds. However, the surface of any parts cannot be completely smooth. The surface roughness is one of the causes of vibrations at the narrow local contact of two friction surfaces, which are mutually moving [12]. There may be dry sliding or rolling friction as well as hydrodynamic friction when the friction surfaces are separated by a layer of oil or other lubricant [13].

The vibrations of the ICE case are complex (Fig. 1: 1 – the source of emergence of shock vibrations; 2 – the first stage of propagation of vibrations (conjugation of the stripper fingers – the upper head of the rocker); 3 – the second stage of propagation of oscillations (the connection of the lower head of the rocker – rod neck of the crankshaft); 4 – the third stage of propagation of oscillations (connecting the root neck of the crankshaft – block); 5 – the first stage of propagation of oscillations in the other direction (conjugation of the piston – cylinder); 6 – resistance to propagation of vibrations (gasket); a, b, c and d are areas of rational withdrawal of information.), due to the many impulse excitation and multichannel propagation of oscillations, as well as the presence of uncontrolled "noise". Therefore, a difficult task is to separate the signals and isolate the signal from the connection being diagnosed [14].

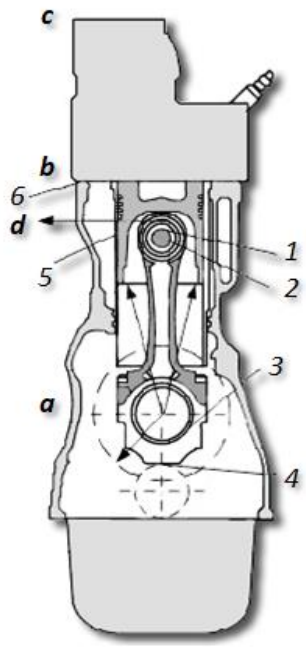


Fig. 1. Dissemination of information about contact of parts in the combination of the finger-piston at the end of the release cycle.

Purpose of research

The authors research the vibroacoustic method of technical condition monitoring the diesel engine of combine harvesters as result of analysis of propagating elastic vibrations through the block and details interaction.

Results of research

One of the main tasks of the vibroacoustic method is the distribution of signals, that is, the detection of vibroacoustic signal caused by the impact of the details of the studied kinematic pair [15]. The difficulty of this task is that the increase in the number of cylinders leads to an increase in the density of vibration pulses per unit phase space (the cycle of operation of the internal combustion engine on the angle of rotation of the crankshaft) [16]. Thus, in the SMD-31A engine, the phase space only from the gas-distributing mechanism is filled with vibrating pulses so (Fig. 2) that it is impossible to determine the technical state of the i-th connection of this mechanism by one parameter. In order to improve the accuracy of diagnosis, the evaluation of several diagnostic parameters is needed.

The nature of the vibroacoustic signal of the ICE mechanisms has a complex structure, which depends on the dynamics of the mechanism and the set of components. Analysis of the literature [16] allowed us to determine the parameters of the installation of the vibration sensor (location and method of fixing). The following mounting methods were chosen – on the stud, and with the help of a special mount. Attempts were made to secure the sensor with an epoxy resin, but given the long installation time, this method was considered as not perspective. The vibrating signal emitted by the connection was perceived by the vibration sensor (B&K Type 4333 No272437, D-14, IS-317). Before installation, the sensors were calibrated. To evaluate the condition of the units and mechanisms of the internal combustion engine with the help of a vibration transducer the sensor was pressed to different zones of the motor installation (Fig. 3), selected the necessary mode of operation of the engine and recorded signals to the computer for the next analysis and processing. Simultaneously with the removal of vibration parameters in the frequency spectrum, the position of the piston of the first cylinder relative to TDC (Fig. 3) was determined using an inductive speed sensor.

Consider, for example, the nature of the emergence of oscillations in the ICE. Engine work is characterized by the fact that workflows in different sections pass at their own times, so they use temporary selection to highlight the oscillation process associated with the work of a single section or a single element of a single section. The nature of the excitation of oscillatory processes of the ICE is peculiar. A characteristic feature of it is the impulse nature of the excitation caused by the high rate of pressure increase in the combustion chamber, the transfer of pistons, the processes of fuel injection and exhaust.

When changing the parameters of the engine, such as the moment of fuel injection, disturbance in the gas distribution mechanism, the wear of the piston rings, the increase in the gap between the piston and the sleeve associated with the operation of these mechanisms, the pulses are shifted in phase, their amplitude and duration change, new pulses appear. At the same time there are several factors that cause complications of the vibroacoustic signal. For engines with a number of

cylinders more than 4 coincidences in time (overlay) of signals, and imbalance of parts during rotation leads to the appearance in the signal spectrum of frequencies multiple to rotation speed (Table 1).

The examples show the complexity of the oscillation processes that occur in the engine. Therefore, the selection of a useful signal in the diagnosis of a particular node is associated with certain difficulties, which are greater when reducing the number of channels of measurement. On the one hand, the solution is to provide each of the connections with its own vibration sensor, which would allow the signals to be separated in time by significantly attenuating the signal as the distance from the oscillation source increases. However, this approach leads to considerable material costs. The best approach is to use one or two sensors (maximum 4) and provide a reliable signal processing algorithm to identify the source of oscillation. In this regard, a perspective and effective way of technical diagnostics of the engine is considered to be time implementation (Fig. 4) and frequency analysis.

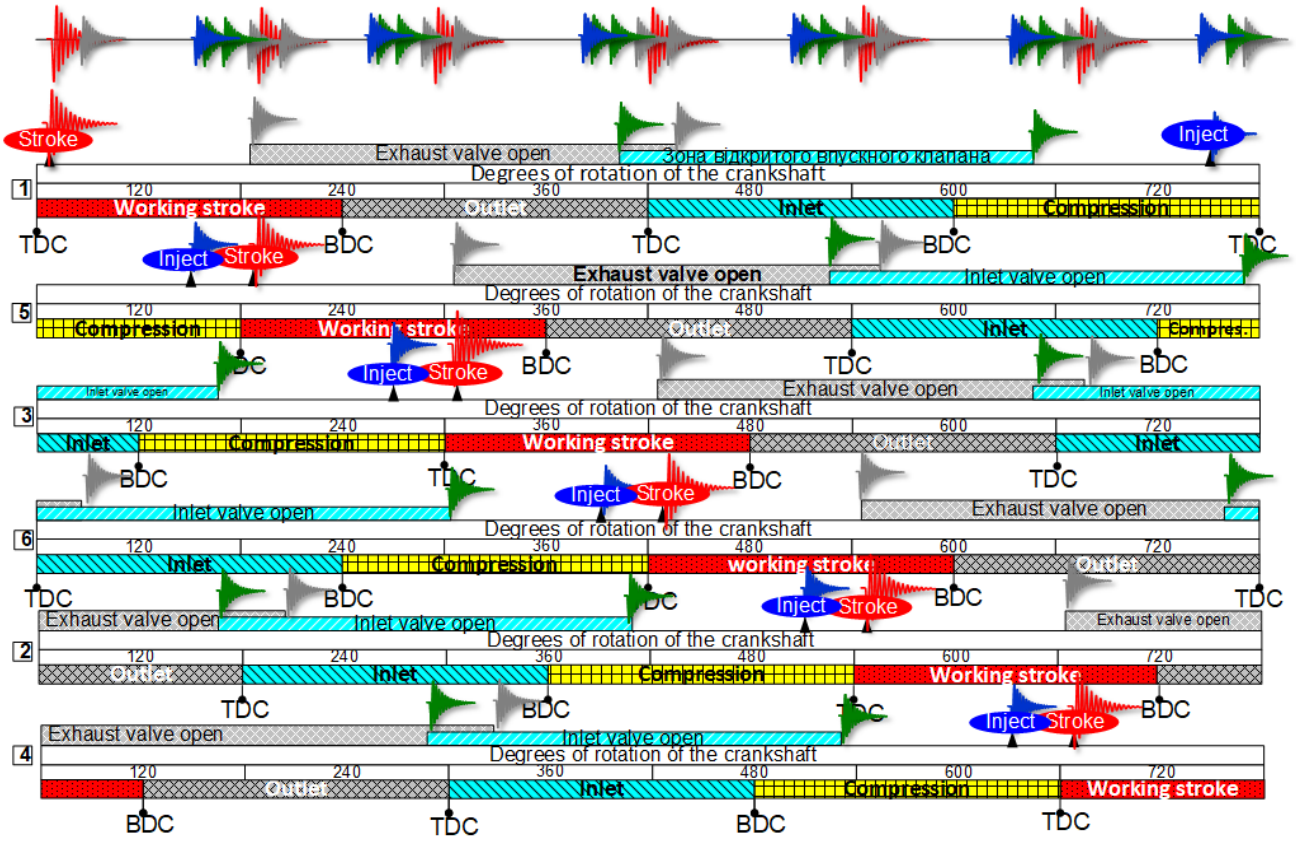


Fig. 2. Theoretical diagram of blows from the gas-distributing mechanism, the fuel equipment, cylinder-piston group on separate cylinders of the engine SMD-31A and their phase realization.

Table 1. Determination of frequencies of main driving forces in ICE.

Cause of vibration	Formula	Denotation
1. Imbalance of rotating parts, inertia forces of the first moment and their moment, f_{D1}	$f_{D1} = \frac{kn_D}{60}$	k = 1,2 – harmonic number; n_D – crankshaft speed min^{-1}.
2. The process of combustion of fuel, f_{D2}	$f_{D2} = \frac{c}{2D}$	c – speed of sound at combustion; D – diameter of the cylinder.
3. Imbalance: - second-order rotating parts, f_{D3} - camshaft parts, f_{D4}	$f_{D3} = \frac{2kn_D}{60}$, $f_{D4} = \frac{kn_D}{2 \cdot 60}$	k = 1,2 – harmonic number; n_D – crankshaft speed min^{-1}.
4. Transfer of piston to cylinder-piston group, f_{D5}	$f_{D5} = \frac{bzkn_D}{60}$	b – number of transfers according to the diagram of normal forces; z – the number of engine cylinders
5. Friction in root bearings of shaft, f_{D6}	$f_{D6} = \frac{z_T kn_D}{60}$	z_T - the number of friction pairs
6. Valve strikes, f_{D7}	$f_{D7} = \frac{z \cdot z_K kn_D}{60m}$	z_K – number of valves of one cylinder; m – the tact.

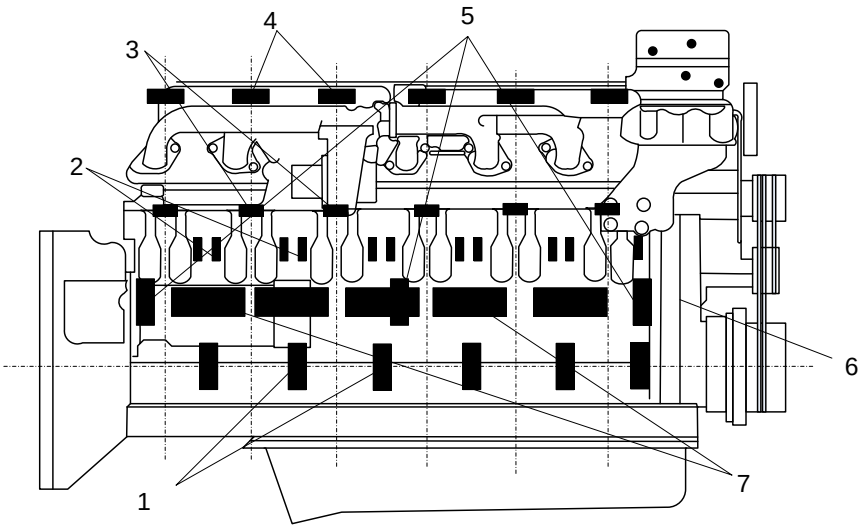


Fig. 3. Signal listening locations in engine connections: 1 – crankshaft – root bearing; 2 – connecting rod – bushing; 3 – valve – piston bottom; 4 – rocker arms – valve stem; 5 – camshaft – bearing; 6 – distribution gears; 7 – camshaft cam – pusher.

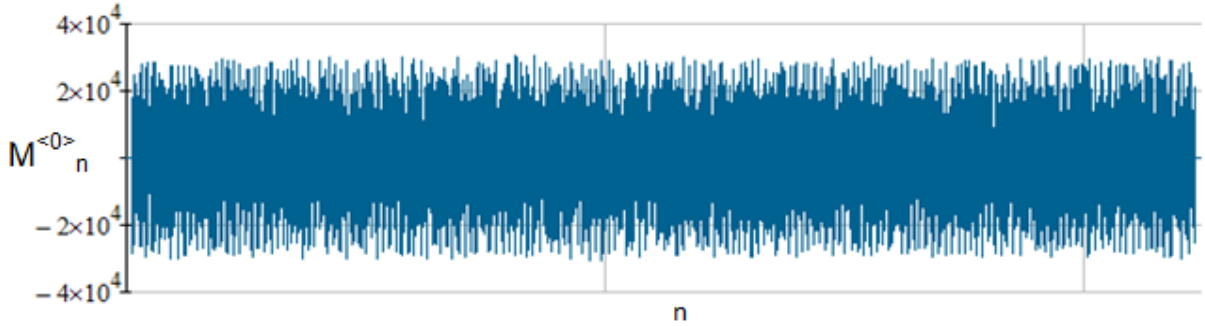


Fig. 4. Vibration signal of acceleration of the engine SMD-31A. (Sensor in zone 2 Fig. 3).

$F := \mathrm{cfft}\left(M^{\langle 0 \rangle}\right)$

Minimum frequency and step $d\Omega := \frac{1}{xmax}$ $d\Omega = 6.104 \times 10^{-5}$

Number of ordinates by frequency $m := 1 + 2^{k-1}$ $m = 8.193 \times 10^{3}$

Current frequency $\Omega_j := (j+1) \cdot \frac{1}{xmax}$ Maximum frequency $\Omega max := m \cdot d\Omega$ $\Omega max = 0.5$

$\Omega_0 = 6.104 \times 10^{-5}$ $F_0 = -1.015 \times 10^{4}$ $\Omega_m = 0.5$ $F_{1024} = -5.363 \times 10^{3} + 1.025i \times 10^{4}$

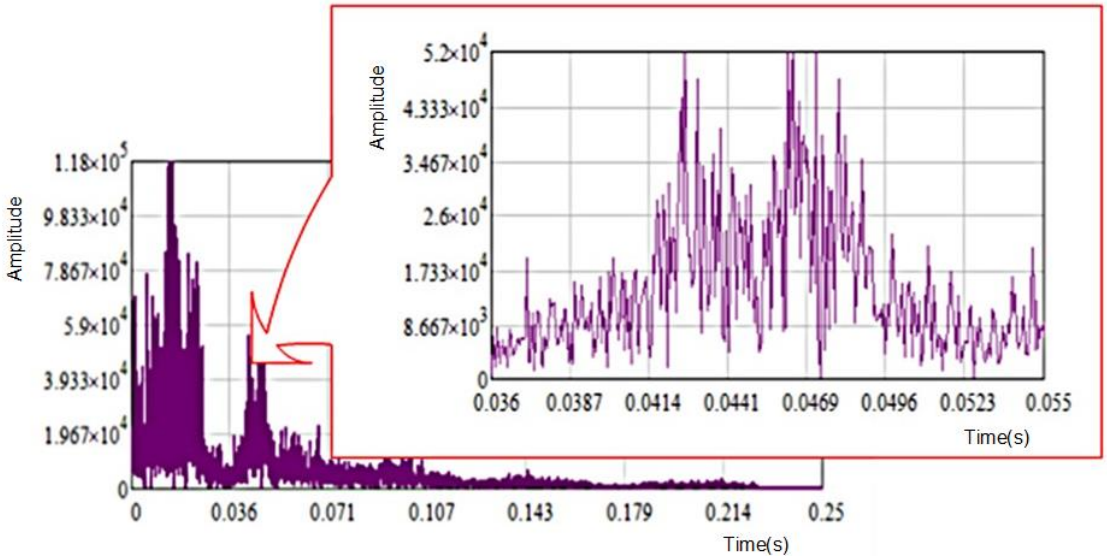


Fig. 5. Listing of receiving spectrum of vibroacoustic signal.

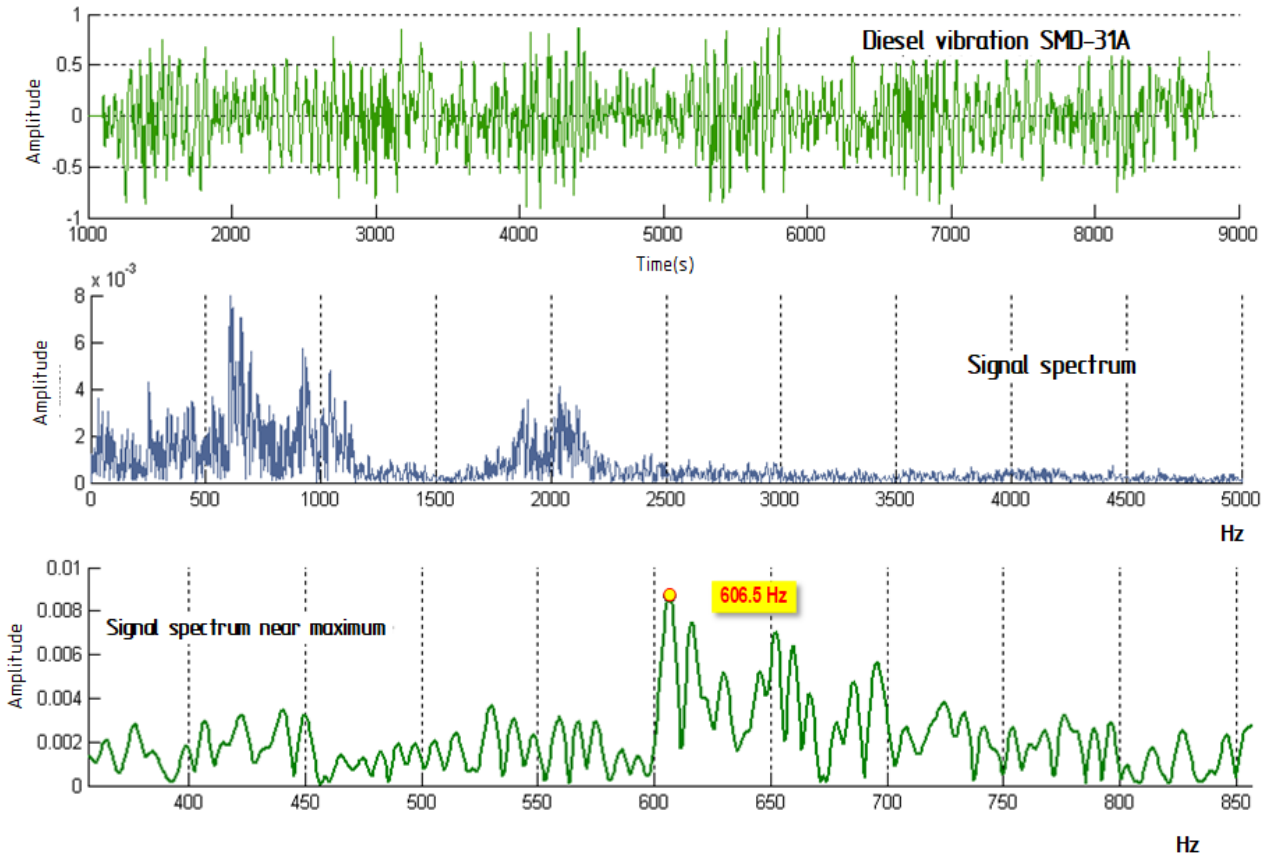


Fig. 6. Normalized vibration signal spectrum and its maximum are calculated.

Indeed, the signal spectrum obtained from any point of the engine contains information about all sources of vibration. However, the presence of previously considered characteristics of engine signals significantly complicates the analysis and interpretation of signals. Finding a solution in this direction is associated with improving the signal-to-noise ratio and improving the algorithm for interpreting the received signals based on their processing.

Usually, a fast Fourier transform is used to obtain the spectrum of the vibroacoustic signal. The Fourier transform is a change of function that converts it into a set of frequency components.

The Fourier transform is based on simple but extremely useful idea – almost any periodic function can be represented by the sum of individual harmonic components (sinusoids and cosines, with different amplitudes *A*, periods *T* and frequencies ω, respectively). The mathematical content of the Fourier transform is to represent the signal *y(x)* as an infinite sum of sinusoids of form $F(\omega) \cdot \sin(\omega x)$. The function $F(\omega)$ is called a direct Fourier transform (integral). The inverse operation transforms the spectrum $F(\omega)$ into the output signal *y(x)*. The MathCad listing (Fig. 5) shows the obtaining the spectrum of the vibrating signal (Fig. 4) by the Fourier transform.

The main expressions for the Fourier transform of the input sequence $\{g_n\}$ $n = 0, ..., N-1$ are:

- direct

$$G(k) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} g(n) \cdot e^{-j \cdot \frac{2\pi kn}{N}}, \quad (1)$$

- inverted

$$g(k) = \sum_{n=0}^{N-1} G(k) \cdot e^{-j \cdot \frac{2\pi kn}{N}}. \quad (2)$$

The calculation procedure for a discrete Fourier transform is a fast Fourier transform algorithm.

The spectral analysis frames are an estimate of the following characteristics:

– amplitude spectrum, power spectrum, power spectral density, complex spectrum;

– functions of coherence, coherent output power, "signal-interference" ratio.

Discrete Fourier Transform for process sampling $\{X_k, k=0, ..., N-1\}$ is determined by the formula:

$$F(n,N) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{j \cdot \frac{2\pi nk}{N}}, \quad (3)$$

The power density spectrum is defined as the average of *M* realizations and has a dimension (unit/Hz).

$$G_{спм}(n,T) = \frac{1}{\Delta f} \cdot G_{см}, \quad (4)$$

where: Δf – poll frequency (sampling).

The amplitude spectrum is determined by the power spectrum and has the dimension (unit). This uses the dependency:

$$G_A(n,T) = \sqrt{G_{см}(n,T)}. \quad (5)$$

The MathCad 15 and MathLab R2007b mathematical packages were used to develop a further adaptive model of vibration signal processing and analysis. This program contains a signal processing package. For fast Fourier transforms, MathCad has several standardized built-in functions, such as *fft(y)* and *FFT(y)*.

The calculation results are reflected in the Fourier spectrum module because the spectrum itself is complex. An important parameter is the cut off frequency $\Omega_0 = \frac{1}{xMAX}$ (defines the lower bound of the spectrum) and the Nyquist frequency $\Omega_N = \frac{N}{2 \cdot xMAX}$ (defines the upper bound of the spectrum).

The sampling interval of the Fourier spectrum is also equal Ω_0, and the total number of calculation points is N/2. We use the functions *ifft(y)* and *IFFT(y)* to calculate the inverse Fourier transform (signal recovery over the true spectrum).

In the listing (Fig. 6), the normalized vibration spectrum was calculated using the MathLab package and the frequency of the maximum signal was found.

From the point of view of the analysis of vibroacoustic signals in the frequency domain and subsequent accurate recovery after a certain transformation, we can note a number of disadvantages of the Fourier series, which in general led to the Short-time Fourier transform and stimulated the development of wavelet transformations, which are beyond the scope of this article and will be discussed in the future. The disadvantages are:

– Limited informative analysis of non-stationary signals and almost no possibility of analysing their features (singularities), since in the frequency domain there is a "smearing" of features of the signals over the entire frequency range.

– The harmonic basis functions cannot reflect the variations of signals with infinite steepness of rectangular pulses, because they require an infinitely large number of members of a series.

The Fourier transform reflects global information on the frequency of the vibration signal and does not give a complete idea of the local properties of the signal in the conditions of rapid change of their spectral composition. The Fourier transform does not have the ability to analyse the frequency characteristics of the signal at any given time.

Conclusions

1. The simulation of the processing of the vibration signals of a diesel engine by means of spectral analysis showed that the use of fast Fourier transform and obtaining the spectrum of the entire signal is possible to use with the maximum approximation of the sensor to the oscillation source.

2. The use of the direct and inverse Fourier transform method should be used to increase the signal-to-noise ratio for the development of a further adaptive vibration signal processing model for the purpose of a clear diagnosis.

Acknowledgements

This work was supported by a grant of the Ministry of Science and Education of Ukraine, contract _110/495/01.01.2016, Project code: UA 16 495 01 01, NULES Project title – "Experimental researches of parameters and modes of functioning of system of maintenance of agricultural machinery", phase 2: Experimental researches of parameters and modes of functioning of system of maintenance of harvesting combine.

References

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 1166-1172.

2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 158-163.

3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 79-84.

4. *Masek J., Novak P., Jasinskas A.* (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 1180-1185.

5. *Rogovskii I., Grubrin O.* (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. *Viba J., Lavendelis E.* (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, 95-98.

7. *Luo A.C.J., Guo Y.* (2013). Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag. 213.

8. *Astashev V., Krupenin V.* (2017). Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 108-113.

9. *Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 64-74.

10. *Drga R., Janacova D., Charvatova H.* (2016). Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc

D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. *Novotny J.* (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, 16-20.

12. *Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P.* (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 407-441.

13. *Rogovskii I. L.* (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No 3, 181-187.

14. *Rogovskii I. L.* (2019). Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No 4, 145-150.

15. *Rogovskii I. L.* (2020). Algorithmicly determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 11. No 1. 155-162. DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.155-162.

16. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor*. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18. 291−298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus. WoS.

Список літератури

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 1166-1172.

2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 2017, pp. 158-163.

3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 2018, pp. 79-84.

4. *Masek J., Novak P., Jasinskas A.* Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 1180-1185.

5. *Rogovskii I., Grubrin O.* Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 2018, pp. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. *Viba J., Lavendelis E.* Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, pp. 95-98.

7. *Luo A.C.J., Guo Y.* Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.

8. *Astashev V., Krupenin V.* Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 108-113.

9. *Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 2018, pp. 64-74.

10. *Drga R., Janacova D., Charvatova H.* Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. *Novotny J.* Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2016, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, pp. 16-20.

12. *Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P.* Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 2016, pp. 407-441.

13. *Rogovskii I. L.* Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 181-187.

14. *Rogovskii I. L.* Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 4, P. 145-150.

15. *Роговський І. Л.* Алгоритмічність визначення періодичності відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 1. P. 155-162. DOI: 10.31548/machenergy.2020.01.155-162.

16. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor*. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18. P. 291−298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus. WoS.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОАКУСТИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЯВИ ДЕФЕКТІВ

Д. І. Мартинюк

Анотація. Автор дослідив віброакустичний метод контролю технічного стану дизельного двигуна зернозбиральних комбайнів за результатами аналізу пружних коливань, що розповсюджуються по корпусу і деталях, в результаті взаємодії останніх. У зв'язку з цим автори вирішували задачу цього методу, а саме виявлення віброакустичного сигналу, який викликаний співударами деталей досліджуваної кінематичної пари. При рішенні було враховано, що збільшення числа циліндрів двигуна веде до підвищення густоти віброімпульсів на одиницю фазового простору, тому цикл роботи дизельного двигуна зернозбиральних комбайнів було оцінено по куту повороту колінчастого валу. Так, встановлено, що фазовий простір тільки від газорозподільчого механізму заповнений віброімпульсами, що однозначно визначити технічний стан і-го з'єднання цього механізму за одним параметром неможливо. Для підвищення достовірності діагностування автори розглянули природу виникнення коливань в двигуні зернозбиральних комбайнів. Робота двигуна характерна тим, що робочі процеси у різних секціях проходять в рідні моменти часу, тому для виділення коливального процесу, пов'язаного з роботою окремої секції, чи окремого елементу однієї секції, використовують часову селекцію. Характер збудження коливальних процесів двигуна є імпульсним, викликаний великою швидкістю наростання тиску в камері згорання, перекладкою поршнів, процесами впорскування палива і випуску відпрацьованих газів. Так зміни моменту впорскування палива, порушення у роботі газорозподільчого механізму, зносу поршневих кілець, збільшення зазору між поршнем і гільзою пов'язані з роботою цих механізмів імпульси зміщуються по фазі, змінюється їх амплітуда і тривалість, з'являються нові імпульси. При цьому одночасно діє декілька факторів, що викликають ускладнення віброакустичного сигналу. Для двигунів із кількістю циліндрів більше 4 співпадання в часі (накладання) сигналів, та неврівноваженість деталей під час обертання призводить до появи в спектрі сигналу частот 606,5 Гц.

Ключові слова: вібросигнал, дефект, амплітуда, коливання, двигун.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

Д. И. Мартынюк

Аннотация. Автор исследовал виброакустический метод контроля технического состояния дизельного двигателя зерноуборочных комбайнов по результатам анализа упругих колебаний, распространяющихся по корпусу и деталях, в результате взаимодействия последних. В связи с этим авторы решали задачу этого метода, а именно обнаружения виброакустического сигнала, который вызван співударами деталей исследуемой кинематической пары. При решении было учтено, что увеличение числа цилиндров двигателя ведет к повышению густоты віброімпульсів на единицу фазового пространства, поэтому цикл работы дизельного двигателя зерноуборочных комбайнов было оценено по углу поворота коленчатого вала. Так, установлено, что фазовое пространство только от газораспределительного механизма заполнен віброімпульсами, что однозначно определить техническое состояние і-го соединения этого механизма по одному параметру невозможно. Для повышения достоверности диагностирования авторы рассмотрели природу возникновения колебаний в двигателе зерноуборочных комбайнов. Работа двигателя характерна тем, что рабочие процессы в различных секциях проходят в родные моменты времени, поэтому для выделения колебательного процесса, связанного с работой отдельной секции или отдельного элемента одной секции, используют временную селекцию. Характер возбуждения колебательных процессов двигателя является импульсным, вызванный большой скоростью нарастания давления в камере сгорания, перекладкой поршней, процессами впрыска топлива и выпуска отработанных газов. Так изменения момента впрыска топлива, нарушения в работе газораспределительного механизма, износа поршневых колец, увеличение зазора между поршнем и гильзой связанные с работой этих механизмов импульсы смещаются по фазе, изменяется их амплитуда и длительность, появляются новые импульсы. При этом одновременно действует несколько факторов, вызывающих осложнения виброакустического сигнала. Для двигателей с количеством цилиндров больше 4 совпадения во времени (наложение) сигналов, и неуравновешенность деталей во время вращения приводит к появлению в спектре сигнала частот 606,5 Гц.

Ключевые слова: вибросигнал, дефект, амплитуда, колебания, двигатель.

Д. І. Мартинюк ORCID 0000-0003-2681-0645.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 49-57*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.049-057

УДК 514.18

РОЗРАХУНОК ГРАВІТАЦІЙНОГО СПУСКУ, УТВОРЕНОГО ПОВЕРХНЕЮ КОСОГО ЗАКРИТОГО ГЕЛІКОЇДА

Т. А. Кресан

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 131 – прикладна механіка.

Кореспонденція авторки: tanyakresan@i.ua.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 9, рис. 5, табл. 0.

Анотація. В статті розглянуто теоретичні питання проектування гравітаційних спусків. Переміщення вантажів або матеріалу по них здійснюється під дією сили власної ваги. Такий транспорт широко використовується на вугільних шахтах, рудниках, збагачувальних фабриках. Транспортування матеріалу може здійснюватися по спеціальних поверхнях: настилах, каскадних та гвинтових спусках, трубах, жолобах тощо. Характер руху частинки залежить від особливостей конструкції таких спусків.

Найпростіше розрахувати спуск у вигляді похилої площини. Частинка рухається по ньому по прямолінійній траєкторії, яка є лінією найбільшого нахилу. Якщо робочою поверхнею спуску є криволінійна поверхня, то траєкторією руху буде крива лінія. В цьому випадку виникає додаткова сила інерції – відцентрова, величина якої залежить від кривини траєкторії. Ця сила може відхиляти траєкторію руху від лінії найбільшого нахилу, а також збільшувати тиск частинки на поверхню, що призводить до збільшення сили тертя. При складанні диференціальних рівнянь руху потрібно враховувати всі прикладені сили.

В роботі розглянуто конструювання гвинтового спуску, у якого робочою поверхнею є нерозгортний (косий) гелікоїд. Щоб не складати диференціальних рівнянь руху частинки, в роботі запропоновано описати її рух після стабілізації, тобто після того, як вона починає рухатися по гвинтовій лінії із сталою швидкістю. Диференціальне рівняння руху частинки в цьому випадку заміняється рівняннями рівноваги прикладених до неї сил в проекціях на осі координат. Рівняння рівноваги сил складено в проекціях як на осі нерухомої системи координат, так і на орти рухомого тригранника Дарбу. В обох випадках отримано однакові аналітичні залежності. Вони дозволяють конструювати спуск за заданою розрахунковою швидкістю руху частинки при відомому коефіцієнті тертя. Одну і ту ж розрахункову швидкість руху частинки при заданому коефіцієнті тертя можна забезпечити поверхнею косого гелікоїда із різними конструктивними параметрами.

Ключові слова: гравітаційний спуск, сила ваги, рівняння рівноваги сил, косий гелікоїд, стаціонарний режим.

Постановка проблеми

Для переміщення вантажів вниз можна скористатися силами гравітації таким чином, щоб переміщення вантажів або матеріалу вниз здійснювалося під дією сили власної ваги із допустимою заданою швидкістю. Транспортування матеріалу здійснюється по спеціальних шорстких поверхнях, які загальмовують їх швидкість опускання. Деякі спуски можуть мати дві ділянки. На одній ділянці з більшим кутом нахилу вантаж рухається швидше, а на другій із меншим кутом – рухається повільніше і згодом зупиняється. Використовуються також інерційні конвеєри – вібраційний і хитний. У вібраційного конвеєра частота хитання велика, а амплітуда мала. У хитного конвеєра навпаки – частота хитань менша, а амплітуда велика. В першому випадку переміщення відбувається мікрокидками з відривом частини вантажу від поверхні, а в другому – здійснюється силами інерції без відриву від поверхні.

У гравітаційного транспорту є переваги перед іншими видами транспорту: простота, відсутність складних пристроїв, висока продуктивність, дешевизна. Є і суттєві недоліки: інтенсивний знос поверхні транспортування, пошкодження вантажу, залежність роботи від властивостей робочої поверхні спуску, вологості, інших кліматичних умов.

Аналіз останніх досліджень

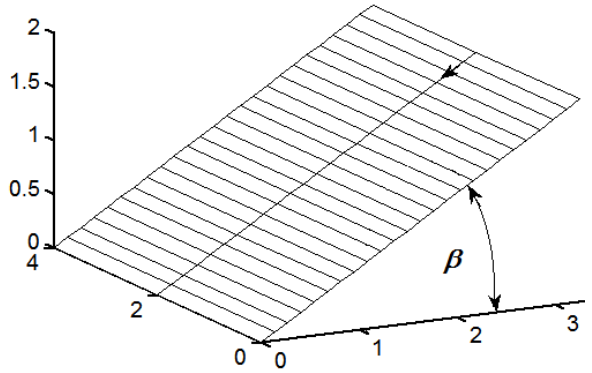
В роботі [1] робочою поверхнею гвинтового спуску є гвинтовий коноїд, по якому частинка починає свій рух по лінії найбільшого нахилу. По мірі розгону вона віддаляється від осі коноїда і згодом може зупинитися, оскільки кут нахилу траєкторії до горизонтальної площини зменшується і згодом стає меншим від кута тертя [2-5]. Щоб цього не відбувалося, поверхню гвинтового коноїда обмежують вертикальною стінкою, яка є відсіком співвісного із коноїдом циліндра. Загальні підходи до розрахунку і проектування гравітаційного самопливного транспорту розкрито в джерелах [6-9].

Мета досліджень

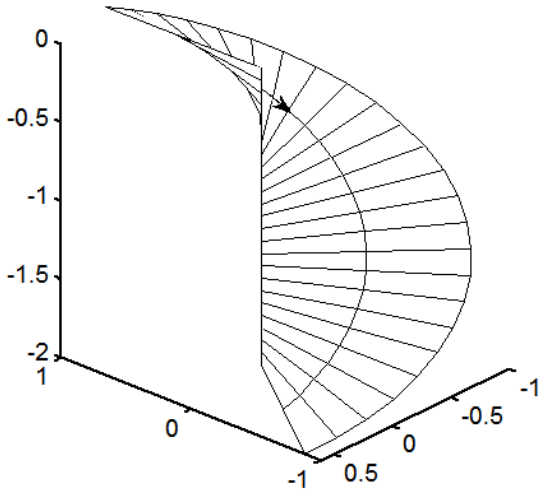
Розробити аналітичний опис руху вантажу на прикладі матеріальної частинки по поверхні косого (нерозгортного) гелікоїда після стабілізації руху, тобто після того, як швидкість частинки стане постійною, а траєкторією буде гвинтова лінія.

Результати досліджень

Рух частинки по гвинтовій поверхні можна певним чином порівнювати із її рухом по похилій площині (рис. 1). Для того, щоб рух вантажу був можливим по похилій площині, кут нахилу β не повинен бути меншим від кута тертя (рис. 1,а).



а



б

Рис. 1. До порівняння руху частинки по площині: а) і поверхні гвинтового коноїда; б), у якого на початковому етапі напрям руху збігається із напрямом лінії найбільшого нахилу поверхні.

Fig. 1. For comparing the motion of a particle on the plane: a) and the surface of the helical conoid; b) in which at the initial stage the direction of motion coincides with the direction of the line of greatest slope of the surface

Якщо кут β дорівнює кутові тертя, то частинка буде рухатися по прямій лінії, яка є лінією найбільшого нахилу площини, із сталою швидкістю, яку їй було надано на початку руху.

Для гвинтового коноїда, рух по якому нами було розглянуто в попередній роботі [1], частинка теж починає свій рух по лінії найбільшого нахилу (рис. 1,б), якою є гвинтова лінія, але під дією відцентрової сили починає віддалятися від осі. Тому гвинтова поверхня була нами обмежена бічною стінкою (рис. 2).

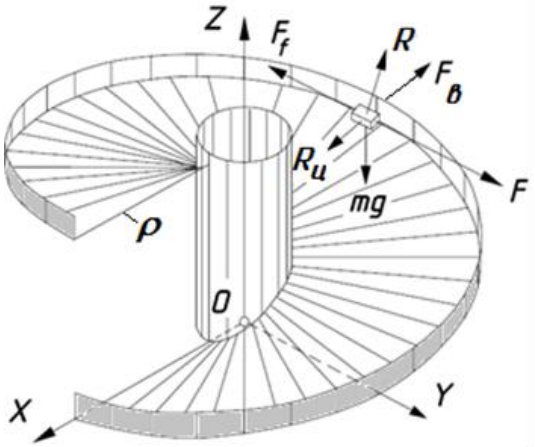


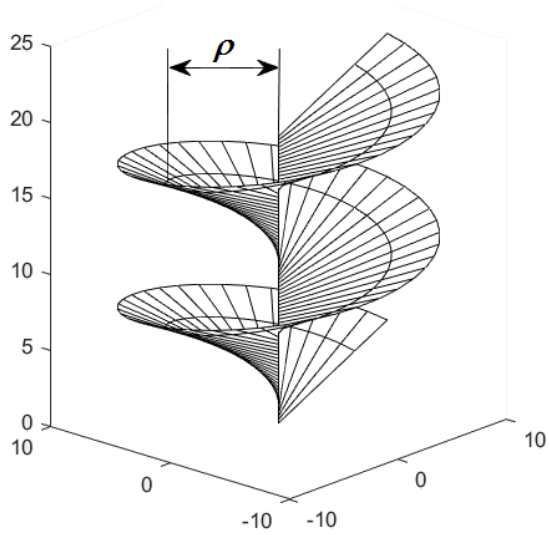
Рис. 2. Схема прикладених до частинки сил: F – рушійна сила (складова сили ваги); R – реакція поверхні коноїда; $R_ц$ – реакція поверхні циліндра; F_f – сила тертя; $F_в$ – відцентрова сила; mg – вага частинки.

Fig. 2. Scheme of applied force to the particle: F – driving force (component of the force of gravity); R is the reaction surface of the conoid; $R_ц$ is the reaction of the cylinder surface; F_f – friction force; $F_в$ – centrifugal force; mg is the weight of the particle.

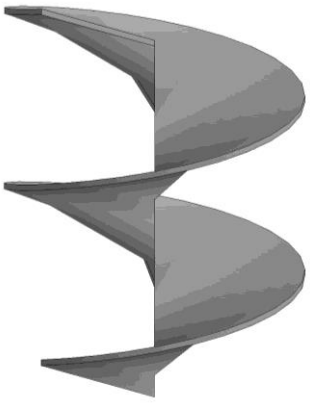
По такій складеній поверхні частинка рухається по гвинтовій лінії і одночасно ковзає по двох поверхнях. В цьому випадку відстань ρ від осі коноїда до гвинтової лінії – траєкторії руху частинки – є наперед заданою. Після розгону швидкість руху частинки стабілізується і стає сталою. Після стабілізації рух частинки по гвинтовій поверхні стає подібним до руху по похилій площині, встановленій під кутом тертя до горизонтальної площини: в обох випадках швидкість V стала і кут β нахилу траєкторії руху теж сталий. Відмінність полягає в тому, що в другому випадку траєкторією руху частинки є гвинтова лінія із сталою кривиною. В цьому випадку виникає відцентрова сила $F_в=mV^2k$, де m – маса частинки, V – її швидкість, k – кривина траєкторії. Отже, виникає додаткова сила сталої величини $F_в$, напрям дії якої визначений – паралельно до горизонтальної площини від осі гвинтової лінії (рис. 2). Для складеної поверхні (4) у праці [1] було знайдено аналітичні залежності для знаходження швидкості руху частинки в залежності від конструктивних параметрів гвинтового спуску і коефіцієнтів тертя частинки по складових поверхнях.

Наше дослідження присвячено гвинтовому спуску, який утворений нерозгортним закритим або косим гелікоїдом. Поверхня утворена гвинтовим рухом прямолінійної твірної, яка нахилена під сталим кутом β до горизонтальної площини і перетинає вертикальну

вісь (рис. 3,а). Швидкість підйому прямолінійної твірної вздовж вертикальної осі *OZ* залежить від значення гвинтового параметра *b*, який визначає крок *H* будь-якої гвинтової лінії поверхні за формулою $H=2\pi b$.



а



б

Рис. 3. Гелікоїдальні лінійчаті поверхні: а) аксонометрія косого гелікоїда; б) твердотільна модель.

Fig. 3. Helix ruled surfaces: a) axonometry of skew helicoid; b) solid model.

На аксонометрії поверхні (рис. 3,а) гвинтовою лінією на відстані ρ від осі позначена ймовірна траєкторія руху частинки при стаціонарному режимі. На відміну від конструкції спуску, зображеного на рис. 2, ця відстань не є заданою, тобто її потрібно знайти. В цьому полягає складність і принципова відмінність між знаходженням закону руху частинки по складеній поверхні (рис. 2) і по поверхні косого гелікоїда (рис. 3).

Для аналітичного опису руху частинки по поверхні складаються диференціальні рівняння. Вони ґрунтуються на другому законі Ньютона, який у векторному вигляді записується наступним чином:

$$m\bar{a} = \bar{F}\,, \qquad (1)$$

де m – маса частинки, $\bar{a}$ – вектор прискорення, $\bar{F}$ – результуючий вектор прикладених до частинки сил. Такими силами є сила ваги mg (g=9,81 м/с^2), реакція R поверхні, спрямована вздовж нормалі до поверхні (рис. 2) та сила тертя F_f, спрямована в протилежну сторону від напрямку руху. Під час перехідного процесу, тобто на етапі розгону частинки, швидкість V зростає, тобто виникає прискорення. Оскільки прискорення визначається подвійним диференціюванням шляху по часу t, то в загальному випадку рівняння (1) є диференціальним рівнянням другого порядку.

Після стабілізації руху швидкість V стає постійною, тобто прискорення дорівнює нулю і рівняння (1) перетворюється у рівняння рівноваги прикладених сил. До перерахованих сил додається ще відцентрова сила інерції $F_в$, яка при перехідному процесі була врахована у виразах прискорення:

$$F_в = mV^2k\,, \qquad (2)$$

де k – кривина траєкторії.

Оскільки траєкторією руху частинки в нашому випадку буде гвинтова лінія, то її кривина буде сталою, отже, і відцентрова сила теж буде сталою. Напрям її дії теж відомий – вздовж головної нормалі гвинтової лінії від осі обертання, тобто по перпендикуляру від осі обертання. Всі сили потрібно спроекціювати на осі просторової системи координат. В результаті ми отримаємо три рівняння рівноваги сил, тобто сума прикладених до частинки сил на кожну із осей буде рівною нулю. Таким чином, для знаходження траєкторії і швидкості руху частинки при стаціонарному процесі можна обійтися без розв'язування диференціальних рівнянь, що значно спрощує задачу.

Просторова система координат, на осі якої будемо проекціювати прикладені до частинки сили, може бути як нерухомою, так і рухомою. При розв'язуванні задач здебільшого користуються нерухомою системою *OXYZ*. В ній потрібно знайти напрям кожної із прикладених сил. Напрям окремої сили може змінюватися в кожен момент руху по відношенню до нерухомої системи координат. Рухому систему вибирають так, щоб напрям окремої сили під час руху частинки не змінювався в ній. Щоправда, для всіх сил цього зробити не вдасться.

Рухому систему прямокутних координат розташовують так, щоб один орт завжди був дотичний до траєкторії руху частинки. Тоді сила тертя F_f, яка завжди спрямована в протилежну сторону від напряму руху, матиме сталий напрям в рухомій системі. Позначимо орт дотичної літерою τ. Другий орт рухомої системи спрямований по нормалі до поверхні. Позначимо його літерою N. Тоді реакція R поверхні збігатиметься під час руху частинки із напрямом нормалі N, тобто теж матиме сталий напрям в системі рухомої системи. На рис. 4 така рухома система побудована в точці A розміщення частинки на циліндричній поверхні. Третій орт P є перпендикулярним до ортів τ і N, тобто його можна знайти, як результат векторного добутку векторів τ і N. Два орти τ і P розташовані в дотичній до поверхні площині μ (рис. 4). Якщо матеріальній частинці надати початкової швидкості V_o, то вона буде рухатися по поверхні по певній криволінійній траєкторії. Разом із нею буде рухатися рухома система координат τNP, яка називається тригранником Дарбу, причому його вершина буде збігатися з

точкою A розташування частинки на поверхні. Дві сили – сила тертя F_f і сила реакції R поверхні матимуть сталий напрям дії в тригранніку Дарбу, а сила ваги mg – змінний, тоді як в нерухомій системі координат – сталий. Ще одна сила – відцентрова сила інерції $F_в$ – теж матиме сталий напрям, але уже у другій рухомій системі – супровідному тригранніку Френе траєкторії.

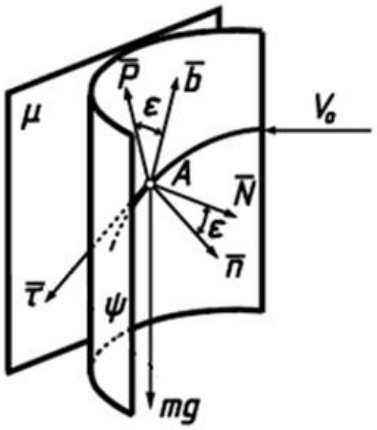


Рис. 4. Взаємне розташування рухомих тригранників Дарбу і Френе в точці A траєкторії руху частинки по поверхні.

Fig. 4. The relative position of the Darboux triad and Frenet trihedral at point A of the trajectory of motion of the particle on the surface.

Положення тригранника Френе зумовлене не формою поверхні, а формою кривої, в тому числі на поверхні. Якщо тригранник Дарбу може бути побудований тільки за наявності поверхні і кривій на ній, то тригранник Френе – тільки за наявності кривої. Його орт дотичної до кривої τ збігається із однойменним ортом тригранника Дарбу, орт головної нормалі n завжди спрямований до центра кола кривини кривої, а орт бінормалі b перпендикулярний до них обох, тобто може бути отриманий, як результат векторного множення ортів τ і n. Між ортами N і n та P і b (рис. 4) попарно існує кут ε, якого можна знайти, якщо відомі рівняння поверхні і лінії на ній. Для геодезичної лінії на поверхні кут ε у всіх точках кривої дорівнює нулю. Для гвинтової лінії на поверхні гелікоїда він є сталим. Таким чином, для складання рівноваги діючих на частинку сил беремо до уваги наступне.

Якщо сили проекціюємо на нерухому систему координат, то в загальному випадку отримаємо три проекції окрім сили ваги, яка діє вздовж осі OZ, тобто має одну проекцію.

Якщо сили проекціюємо на рухому систему координат тригранника Дарбу, то тільки сила ваги mg має три проекції, сила тертя F_f і сила реакції R – одну проекцію, відцентрова сила інерції $F_в$ – дві проекції (на орти N і P). Складемо рівняння рівноваги прикладених до частинки сил на нерухому систему координат, в якій описана поверхня нерозгортного гелікоїда.

Параметричні рівняння нерозгортного гелікоїда мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} X &= \rho\cos\alpha;\\ Y &= \rho\sin\alpha;\\ Z &= b\alpha + \rho\mathrm{tg}\beta, \end{aligned} \quad , \tag{3}$$

де b, β – гвинтовий параметр і кут нахилу твірних гелікоїда до горизонтальної площини – сталі величини; ρ – відстань від осі поверхні до точки на ній і α – кут повороту точки навколо осі – незалежні змінні поверхні.

При $\rho=const$ на поверхні косого гелікоїда буде задана гвинтова лінія. Нам потрібно знайти таке значення відстані ρ, при якому гвинтова лінія буде траєкторією ковзання частинки.

Знайдемо проекції прикладених до частинки сил на осі нерухомої системи координат. Почнемо із сили ваги mg, яка має сталий напрям в нерухомій системі координат (вона спрямована паралельно осі OZ в протилежну сторону її напряму). Її одиничний напрямний вектор має наступні проекції на осі OX, OY і OZ (або напрямні косинуси): $\{0,\ 0,\ -1\}$. Проекція сили на вісь визначається множенням її величини на відповідний напрямний косинус. Отже проекції сили ваги запишуться:

– на вісь OX: $0;$ (4)

– на вісь OY: $0;$ (5)

– на вісь OZ: $-mg.$ (6)

Для знаходження відцентрової сили інерції за формулою (2) потрібно мати вираз кривини гвинтової лінії – траєкторії руху частинки. Для цього потрібно мати перші і другі похідні рівнянь (3) при $\rho=const$, тобто частинні похідні по змінній α:

$$\begin{aligned} x' &= -\rho\sin\alpha; & x'' &= -\rho\cos\alpha;\\ y' &= \rho\cos\alpha; & y'' &= -\rho\sin\alpha;\\ z' &= b, & z'' &= 0. \end{aligned} \quad , \tag{7}$$

Оскільки при $\rho=const$ рівняння (3) описують уже не поверхню, а лінію, то у виразах похідні позначено через строчні літери, як зазвичай це прийнято для ліній. За відомою формулою [6] знаходимо кривину k гвинтової лінії:

$$k = \frac{\sqrt{\begin{vmatrix} y' & z' \\ y'' & z'' \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} z' & x' \\ z'' & x'' \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} x' & y' \\ x'' & y'' \end{vmatrix}^2}}{\left(x'^2 + y'^2 + z'^2\right)^{3/2}} = \frac{\rho}{b^2 + \rho^2}. \tag{8}$$

Підстановкою (8) у вираз (2) знаходимо:

$$F_в = mV^2 k = \frac{mV^2\rho}{b^2 + \rho^2}, \tag{9}$$

Напрям дії сили (9) задається двома першими рівняннями (3), тобто напрямні косинуси будуть: $\{\cos\alpha,\ \sin\alpha,\ 0\}$. Відповідно проекції сили (9) на осі запишуться:

– на вісь OX: $\dfrac{mV^2\rho}{b^2 + \rho^2}\cos\alpha;$ (10)

– на вісь OY: $\dfrac{mV^2\rho}{b^2 + \rho^2}\sin\alpha;$ (11)

– на вісь OZ: $0.$ (12)

Реакція поверхні R є невідомою силою, яку потрібно знайти. Вона спрямована вздовж нормалі N до поверхні. Нормаль до поверхні знаходять як векторний добуток двох векторів, що розташовані в дотичній до поверхні площині і проходять через задану точку – в нашому випадку через точку розташування частинки. За такі вектори приймають частинні похідні рівнянь поверхні, які є дотичними до координатних ліній. Вектор дотичної до гвинтової лінії у нас уже є – це перші похідні по параметру α у виразах (7). Запишемо частинні похідні рівнянь (3) по змінній ρ, при цьому похідні позначимо із індексом, щоб можна їх було відрізнити між собою:

$$\begin{aligned} x'_\rho &= \cos\alpha; \\ y'_\rho &= \sin\alpha; \\ z'_\rho &= \operatorname{tg}\beta. \end{aligned} \tag{13}$$

Знаходимо векторний добуток векторів дотичних (7) і (13):

$$\overline{N} = \begin{vmatrix} X & Y & Z \\ x'_\rho & y'_\rho & z'_\rho \\ x' & y' & z' \end{vmatrix} = \begin{Bmatrix} b\sin\alpha - \rho\cos\alpha\ \operatorname{tg}\beta; \\ -b\cos\alpha - \rho\sin\alpha\operatorname{tg}\beta; \\ \rho \end{Bmatrix}. \tag{14}$$

Вектор (14) не є одиничним. Приведемо його до одиничного і проекції помножимо на R. Після цього проекції сили реакції на осі запишуться:

– на вісь OX: $$R\frac{b\sin\alpha - \rho\cos\alpha\ \operatorname{tg}\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta + \rho^2}}\cos\beta; \tag{15}$$

– на вісь OY: $$-R\frac{b\cos\alpha + \rho\sin\alpha\ \operatorname{tg}\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta + \rho^2}}\cos\beta; \tag{16}$$

– на вісь OZ: $$R\frac{\rho\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta + \rho^2}}. \tag{17}$$

Остання прикладена сила – сила тертя F_f. Вона визначається добутком реакції R на коефіцієнт тертя f: $F_f = fR$. Спрямована вона в протилежну сторону вектора швидкості V, напрям якого задає дотична до траєкторії. Дотична задана першими похідними (7), причому її напрям є протилежним до вектора швидкості, отже збігається із напрямом дії сили тертя. Приводимо цей вектор до одиничного і після цього записуємо проекції сили тертя на осі:

– на вісь OX: $$-fR\frac{\rho\sin\alpha}{\sqrt{b^2+\rho^2}}; \tag{18}$$

– на вісь OY: $$fR\frac{\rho\cos\alpha}{\sqrt{b^2+\rho^2}}; \tag{19}$$

– на вісь OZ: $$fR\frac{b}{\sqrt{b^2+\rho^2}}. \tag{20}$$

Сумуємо вирази проекцій по відповідних осях і прирівнюємо до нуля. Наприклад, для осі OX потрібно додати вирази (4), (10), (15) і (18). Після цього отримуємо систему із трьох рівнянь, до якої входять три невідомих величини: швидкість V, відстань ρ і реакція R:

$$\begin{aligned} &\frac{mV^2\rho}{b^2+\rho^2}\cos\alpha + R\frac{b\sin\alpha - \rho\cos\alpha\ \operatorname{tg}\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}\cos\beta - \\ &- fR\frac{\rho\sin\alpha}{\sqrt{b^2+\rho^2}} = 0; \\ &\frac{mV^2\rho}{b^2+\rho^2}\sin\alpha - R\frac{b\cos\alpha + \rho\sin\alpha\ \operatorname{tg}\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}\cos\beta + \\ &+ fR\frac{\rho\cos\alpha}{\sqrt{b^2+\rho^2}} = 0; \\ &-mg + R\frac{\rho\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}} + fR\frac{b}{\sqrt{b^2+\rho^2}} = 0. \end{aligned} \tag{21}$$

Систему (21) можна спростити зважаючи на те, що в кожній точці траєкторії прикладені сили є сталими незалежно від її повороту, тобто від значення кута α. Приймемо його рівним нулю: $\alpha = 0$. Після цього система (21) значно спрощується:

$$\begin{aligned} &\frac{mV^2\rho}{b^2+\rho^2} - R\frac{\rho\sin\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}} = 0; \\ &-R\frac{b\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}} + fR\frac{\rho}{\sqrt{b^2+\rho^2}} = 0; \\ &-mg + R\frac{\rho\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}} + fR\frac{b}{\sqrt{b^2+\rho^2}} = 0. \end{aligned} \tag{22}$$

Після цього «Mathematica» дає наступні розв'язки:

$$\rho = \frac{b\cos\beta}{\sqrt{2}f}\sqrt{1 - f^2 + \sqrt{\frac{4f^2}{\cos^2\beta} + \left(1-f^2\right)^2}}. \tag{23}$$

$$V = \sqrt{\frac{bg\sin\beta}{\sqrt{2}f}\sqrt{1 - f^2 + \sqrt{\frac{4f^2}{\cos^2\beta} + \left(1-f^2\right)^2}}}. \tag{24}$$

$$R = \frac{mg}{\sqrt{f^2 + \frac{\cos^2\beta}{2}\left(1 - f^2 + \sqrt{\frac{4f^2}{\cos^2\beta} + \left(1-f^2\right)^2}\right)}}. \tag{25}$$

Отримані результати дають можливість розраховувати кінематичні параметри руху частинки по косому гелікоїду: відстань ρ, швидкість частинки V, реакцію поверхні R.

Знайдемо вектори одиничних ортів тригранника Дарбу. Напрямні косинуси двох ортів ми вже маємо. Перший – орт дотичної τ, заданий першими похідними (7). Після приведення його до одиничного і зміни напряму вниз отримаємо:

– орт дотичної τ:

$$\left\{\frac{\rho\sin\alpha}{\sqrt{b^2+\rho^2}}; -\frac{\rho\cos\alpha}{\sqrt{b^2+\rho^2}}; -\frac{b}{\sqrt{b^2+\rho^2}}\right\} \tag{26}$$

Другий орт – нормалі N до поверхні. Він визначається векторним добутком (14) і після приведення до одиничного має вигляд:

– орт N нормалі до поверхні:

$$\left\{\begin{array}{l}\dfrac{b\sin\alpha-\rho\cos\alpha\ \mathrm{tg}\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}\cos\beta;\\ -\dfrac{b\cos\alpha+\rho\sin\alpha\ \mathrm{tg}\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}\cos\beta;\\ \dfrac{\rho\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}\end{array}\right\} \quad (27)$$

Третій орт P визначається векторним добутком векторів (26) і (27) за правилом векторного множення (14), де у другій рядку визначника є проекції (26), а у третьому рядку – проекції (27). Після виконання операції множення отримаємо напрямні косинуси орта P тригранника Дарбу:

– орт P тригранника Дарбу:

$$\left\{\begin{array}{l}-\dfrac{\rho b\sin\alpha\sin\beta+\left(b^2+\rho^2\right)\cos\alpha\cos\beta}{\sqrt{\left(b^2\cos^2\beta+\rho^2\right)\left(b^2+\rho^2\right)}};\\ \dfrac{\rho b\cos\alpha\sin\beta-\left(b^2+\rho^2\right)\sin\alpha\cos\beta}{\sqrt{\left(b^2\cos^2\beta+\rho^2\right)\left(b^2+\rho^2\right)}};\\ -\dfrac{\rho^2\sin\beta}{\sqrt{\left(b^2\cos^2\beta+\rho^2\right)\left(b^2+\rho^2\right)}}\end{array}\right\}' \quad (28)$$

Знайдемо проекції прикладених до частинки сил на орти рухомої системи тригранника Дарбу які задані одиничними векторами (26), (27), (28). Як і у попередньому випадку, почнемо із сили ваги mg. На відміну від нерухомої системи координат, в якій сила ваги проекціюється тільки на одну вісь, в рухомій вона буде проекціюватися на всі три орти тригранника. За правилом знаходження кутів між векторами знаходимо напрямні косинуси між вектором ваги і кожним ортом тригранника Дарбу:

– з ортом τ (26): $\dfrac{b}{\sqrt{b^2+\rho^2}}$; (29)

– з ортом N (27): $-\dfrac{\rho\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}$; (30)

– з ортом P (28): $\dfrac{\rho^2\sin\beta}{\sqrt{\left(b^2\cos^2\beta+\rho^2\right)\left(b^2+\rho^2\right)}}$. (31)

Відповідно сила ваги mg в проекціях на орти тригранника запишеться:

– на орт τ: $\dfrac{mgb}{\sqrt{b^2+\rho^2}}$; (32)

– на орт N: $-\dfrac{mg\rho\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}$; (33)

– на орт P: $\dfrac{mg\rho^2\sin\beta}{\sqrt{\left(b^2\cos^2\beta+\rho^2\right)\left(b^2+\rho^2\right)}}$. (34)

Наступна сила – відцентрова сила інерції спрямована вздовж вектора $\{\cos\alpha,\ \sin\alpha,\ 0\}$. Вона проекціюється на орти P і N. Напрямні косинуси між вектором відцентрової сили $F_в$ і вказаними векторами тригранника Дарбу наступні:

– з ортом N (27): $-\dfrac{\rho\sin\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}$; (35)

– з ортом P (28): $-\dfrac{\sqrt{b^2+\rho^2}\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}$. (36)

Відповідно відцентрова сила інерції $F_в$ (9) в проекціях на орти тригранника запишеться:

– на орт τ: 0; (37)

– на орт N: $-\dfrac{mV^2\rho}{b^2+\rho^2}\cdot\dfrac{\rho\sin\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}$; (38)

– на орт P: $-\dfrac{mV^2\rho}{b^2+\rho^2}\cdot\dfrac{\sqrt{b^2+\rho^2}\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}$. (39)

Сила реакції R спрямована вздовж орта N, отже її проекції на орти тригранника Дарбу запишуться:

– на орт τ: 0; (40)

– на орт N: R; (41)

– на орт P: 0. (42)

Сила тертя fR спрямована в протилежну сторону орта τ, отже її проекції на орти тригранника Дарбу запишуться:

– на орт τ: $-fR$; (43)

– на орт N: 0; (44)

– на орт P: 0. (45)

Сумуємо прикладені сили вздовж ортів тригранника і отримуємо рівновагу сил в проекції на кожен орт.

Рівновага сил в проекції на орт τ запишеться:

$$\frac{mgb}{\sqrt{b^2+\rho^2}}-fR=0. \quad (46)$$

Рівновага сил в проекції на орт N запишеться:

$$-\frac{mg\rho\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}-\frac{mV^2\rho}{b^2+\rho^2}\cdot\frac{\rho\sin\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}+R=0 \quad (47)$$

Рівновага сил в проекції на орт P запишеться:

$$\frac{mg\rho^2\sin\beta}{\sqrt{\left(b^2\cos^2\beta+\rho^2\right)\left(b^2+\rho\right)}}-\frac{mV^2\rho}{b^2+\rho^2}\cdot\frac{\sqrt{b^2+\rho^2}\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}=0. \quad (48)$$

Із рівняння (46) відразу знаходимо вираз для реакції R поверхні:

$$R=\frac{mgb}{f\sqrt{b^2+\rho^2}}. \quad (49)$$

Із рівняння (48) знаходимо вираз для швидкості V руху частинки:

$$V=\sqrt{g\rho\,\mathrm{tg}\beta}. \quad (50)$$

Підставимо вираз реакції R із (49) і швидкість руху V із (50) у рівняння (47) і отримаємо рівняння, в яке входить одна невідома величина – відстань ρ:

$$-\frac{mg\rho\cos\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}-$$
$$-\frac{mg\rho^2\,\mathrm{tg}\beta}{b^2+\rho^2}\cdot\frac{\rho\sin\beta}{\sqrt{b^2\cos^2\beta+\rho^2}}+ \qquad (51)$$
$$+\frac{mgb}{f\sqrt{b^2+\rho^2}}=0$$

Рівняння (51) можна спростити. Зокрема, його можна скоротити на масу частинки m.

В результаті розв'язання рівняння (51) після його спрощення відносно відстані ρ отримаємо результат, який точно збігається із виразом (23).

Швидкість руху частинки, яку умовно приймемо за деякий вантаж, змінюватиметься по мірі її опускання по поверхні косого гелікоїда: вона зростатиме від нуля до сталого значення. В кінці спуску вона має бути обмеженою з міркувань нормальної роботи спуску, при якій не пошкоджується вантаж. Зазвичай таким обмеженням є велична швидкості до *2,5 м/с* [7]. Згідно формули (50) задану швидкість можна досягнути варіацією двох параметрів: відстані ρ і кута β. Якщо кут β задаватимемо, то відстань ρ визначимо за формулою згідно (50):

$$\rho=\frac{V^2}{g\,\mathrm{tg}\,\beta}. \qquad (52)$$

Далі із формули (23) знаходимо гвинтовий параметр b:

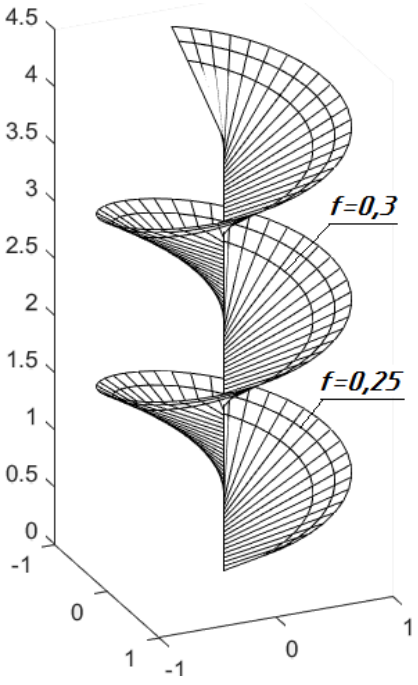
$$b=\frac{\sqrt{2}f\rho}{\cos\beta\sqrt{1-f^2+\sqrt{\frac{4f^2}{\cos^2\beta}+\left(1-f^2\right)^2}}}. \qquad (53)$$

Наприклад, при заданій швидкості *V=2 м/с*, куті *β=30°* і коефіцієнті тертя *f=0,3* отримаємо: *ρ=0,7 м, b=0,24*. Поверхня косого гелікоїда за заданими конструктивними параметрами *b=0,24* і *β=30°* побудована згідно рівнянь (3) на рис. 5,а.

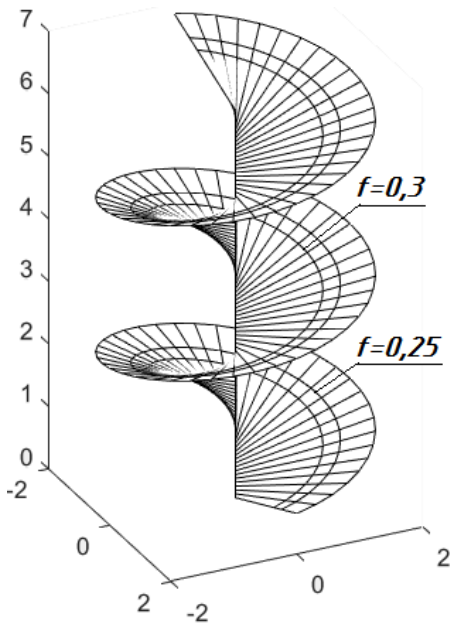
Таку ж саму швидкість руху вантажу *V=2 м/с* після стабілізації можна забезпечити іншою поверхнею при *b=0,394* і *β=18°* (рис. 5,б). Відстань ρ при цьому зросте і становитиме *ρ=1,25 м*. Якщо ж по побудованих поверхнях спускати вантаж із меншим коефіцієнтом тертя *f=0,25*, то зросте як відстань ρ, так і швидкість опускання V (*ρ=0,87 м* і *V=2,18 м/с* в першому випадку і *ρ=1,5 м* і *V=2,18 м/с* – в другому випадку).

Формула (50) вказує на те, що на поверхні косого гелікоїда завжди можна знайти гвинтову лінію, яка забезпечить задану швидкість руху частинки при *β>0*. Наприклад, при *β=1°*, *V=1 м/с* і *f=0,3* отримаємо: *b=1,75* і *ρ=5,84 м*. Знайдемо кут γ підйому гвинтової лінії: $\gamma=\mathrm{Arctg}(b/\rho)=\mathrm{Arctg}(7/23{,}36)=16{,}7°$. Кут тертя для *f=0,3* теж становить 16,7°. Кут γ підйому гвинтової лінії при *β=30°* (рис. 5,а) становить $\gamma=\mathrm{Arctg}(0{,}24/0{,}7)=18{,}9°$.

Таким чином, по мірі зменшення кута β при заданій швидкості V руху частинки кут підйому гвинтової лінії – траєкторії руху частинки – наближається до граничного значення – кута тертя. При *β<0* сталу швидкість частинки забезпечити неможливо. В цьому випадку твірні поверхні спрямовані не вгору, а вниз, отже частинка може тільки розганятися.



а



б

Рис. 5. Косі гелікоїди з нанесеними траєкторіями руху частинки, які забезпечують задану швидкість руху *V=2 м/с* при коефіцієнті тертя *f=0,3*:
а) *β=30°* і *b=0,24*; б) *β=18°* і *b=0,394*

Fig. 5. Skew helicoids with particle trajectories plotted that provide a given velocity *V=2 m/s* at a friction coefficient *f=0,3*:
а) *β=30°* і *b=0,24*; б) *β=18°* і *b=0,394*

Висновки

1. Для транспортування вантажів або матеріалу зверху вниз застосовується гравітаційний транспорт, тобто спуски різної конструкції. Для них характерна простота виготовлення, відсутність механізмів для

приводу під час роботи. Для правильного транспортування матеріалу необхідно зробити розрахунки конструктивних параметрів спуску для того, щоб не було заторів або ж надмірної швидкості транспортування.

2. В роботі виконано розрахунки для конструкції гравітаційних спусків, в яких робочою поверхнею є косий гелікоїд. Аналітичні залежності для розрахунку конструктивних параметрів гвинтового спуску за заданою швидкістю руху вантажу отримані при складанні рівнянь рівноваги прикладених сил як на осі нерухомої системи координат, так і на орти тригранника Дарбу. В обох випадках отримано однакові результати.

Список літератури

1. *Пилипака С.Ф., Кресан Т.А., Бриндак Є.В., Костюченко А.А.* Рух частинки по гвинтовому спуску, утвореному гвинтовим коноїдом і обмежуючим вертикальним співвісним циліндром. *Збірник тез доповідей VI міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання».* 2019. С. 66–67. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/zbirnik_tez2019v2.pdf

2. *Біліченко М.Я.* Основи теорії та розрахунку транспортних засобів механізації переміщення вантажів шахт. Навчальний посібник. Дніпропетровськ. НГУ, 2002. 102 с.

3. *Кузнецов Б.Л.*Транспорт на горных предприятиях. Москва. Недра, 1976. 552 с.

4. Основные положения по проектированию подземного транспорта для новых и действующих угольных шахт. Москва. ИГД имени А.А. Скочинского, 1986. 355 с.

5. *Пейсахович Г.Я., Ремизов И.Л.* Шахтный транспорт шахт и рудников. Справочник. Москва. Недра, 1985. 565 с.

6. *Милинский В.И.* Дифференциальная геометрия Ленинград., 1934. 332 с.

7. *Галкин В.И., Шешко Е.Е*. Транспортные машины Москва. Горная книга МГГУ, 2010. 588 с.

8. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 2019. Vol. 95. Issue 3. P. 108–118. WoS. DOI 10.31489/2019M2/108-119.

9. *Rogovskii, I.L., Titova, L.L., Davydenko, O.O., Trokhaniak, V.I., Trokhaniak, O.M*. Technology of producing reinforced concrete columns of circular cross-sectional and investigation of their strain-stress state at transverse-longitudinal bending. Acta Polytechnica. 2019. Vol. 59, no 5. P. 510−517. DOI:10.14311/AP.2019.59. 0510. Scopus. WoS.

References

1. *Pylypaka S.F., Kresan T.A., Bryndak E.V., Kostyuchenko A.A.* (2019). The movement of the particle on the screw descent formed by the screw conoid and restricting the vertically coaxial cylinder. Collection of abstracts of the presentations of the VI International Scientific and Technical Conference "Kramar Readings", 66-67, https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/ zbirnik_tez2019v2.pdf

2. *Bilichenko M.Ya.* (2002). Fundamentals of theory and calculation of transport vehicles for mechanization of mine cargo movement. Tutorial. Dnipropetrovsk: NSU, 102.

3. *Kuznetsov B.L.* (1976). Transport in mining enterprises. Moscow: Nedra, 552.

4. Basic provisions for the design of underground transport for new and existing coal mines. (1986). Moscow: IGD them. them.. A.A. Skochinsky, 355.

5. *Peysakhovich G.Ya., Remizov I.L*. (1985). Mine transport of mines and mines. Directory. Moscow: Nedra, 565.

6. *Milinsky V.I.* (1934). Differential geometry. Leningrad, 332s.

7. *Galkin V.I., Sheshko E.E.* (2010). Transport cars. Moscow: Mining book of Moscow State University for the Humanities, 588.

8. *Pylypaka, S.F., Nesvidomin, V.M., Klendii, M.B., Rogovskii, I.L., Kresan, T.A., Trokhaniak, V.I.* (2019). Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. Vol. 95. Issue 3. 108–118. WoS. DOI 10.31489/2019M2/108-119. WoS.

9. *Rogovskii, I.L., Titova, L.L., Davydenko, O.O., Trokhaniak, V.I., Trokhaniak, O.M*. (2019). Technology of producing reinforced concrete columns of circular cross-sectional and investigation of their strain-stress state at transverse-longitudinal bending. Acta Polytechnica. Vol. 59, no 5. 510−517. DOI:10.14311/AP.2019.59. 0510. Scopus. WoS.

РАСЧЕТ ГРАВИТАЦИОННОГО СПУСКА, ОБРАЗОВАННОГО ПОВЕРХНОСТЬЮ КОСОГО ЗАКРЫТОГО ГЕЛИКОИДА

Т. А. Кресан

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические вопросы проектирования гравитационных спусков. Перемещение грузов или материала по ним осуществляется под действием силы собственного веса. Такой транспорт широко используется на угольных шахтах, рудниках, обогатительных фабриках. Транспортировка материала может осуществляться по специальным поверхностям: настилам, каскадным и винтовым спускам, трубам, желобам и др. Характер движения частицы зависит от особенностей конструкции таких спусков.

Проще рассчитать спуск в виде наклонной плоскости. Частица движется по нему по прямолинейной траектории, которая является линией наибольшего наклона. Если рабочей поверхностью спуска является криволинейная поверхность, то траекторией движения будет кривая линия. В этом случае возникает дополнительная сила инерции - центробежная, величина которой зависит от кривизны траектории. Эта сила может отклонять траекторию движения от линии наибольшего наклона, а также увеличивать давление частицы на поверхность, что приводит к увеличению силы трения. При составлении дифференциальных

уравнений движения нужно учитывать все приложенные силы.

В работе рассмотрено конструирование винтового спуска, у которого рабочей поверхностью является неразвертывающийся (косой) геликоид. Чтобы не составлять дифференциальных уравнений движения частицы, в статье предложено описать ее движение после стабилизации, то есть после того, как она начинает двигаться по винтовой линии с постоянной скоростью. Дифференциальное уравнение движения частицы в этом случае заменяется уравнениями равновесия приложенных к ней сил в проекциях на оси координат. Уравнения равновесия сил составлены в проекциях, как на оси неподвижной системы координат, так и на орты подвижного трехгранника Дарбу. В обоих случаях получены одинаковые аналитические зависимости. Они позволяют конструировать спуск по заданной расчетной скорости движения частицы при известном коэффициенте трения. Одну и ту же расчетную скорость движения частицы при заданном коэффициенте трения можно обеспечить поверхностью косого геликоида с разными конструктивными параметрами.

Ключевые слова: гравитационный спуск, сила тяжести, уравнения равновесия сил, косой геликоид, стационарный режим.

CALCULATION OF GRAVITATION DESCENT FORMED BY SURFACE OF SKEW CLOSED HELICOID

T. A. Kresan

Abstract. The article deals with theoretical issues of designing gravitational descents. Movement of goods or material on them is carried out under the influence of self-weight. Such transport is widely used in coal mines, mines, concentrating factories. Transport of the material can be carried out on special surfaces: decks, cascade and screw descents, pipes, gutters, etc. The nature of the particle motion depends on the design features of such descents.

It is easier to calculate the descent in the form of an inclined plane. The particle moves along it in a straight line, which is the line of greatest slope. If the working surface of the descent is a curvilinear surface, then the trajectory will be a curve. In this case, there is an additional force of inertia - centrifugal, the value of which depends on the curvature of the trajectory. This force can divert the trajectory of the line of greatest inclination and also increase the particle pressure on the surface, which leads to an increase in the friction force. When drawing up the differential equations of motion, all the forces applied must be taken into account

The design of a screw descent in which the working surface is a nondevelopable (skew) helicoid is considered in the work. In order not to set up differential equations of motion of a particle, we propose to describe its motion after stabilization, that is, after it begins to move along a screw line with a constant speed. In this case, the differential equation of motion of a particle is replaced by the equations of equilibrium of the forces applied to it in the projections on the coordinate axis. The equations of equilibrium of forces is set up in the projections of both the fixed coordinate system and unitary vectors of the moving Darboux triad. In both cases, the same analytical dependencies were obtained. They allow you to design the descent at a predetermined calculated velocity of motion of the particle with a known coefficient of friction. The same calculated velocity of motion of a particle at a given coefficient of friction can be provided by a surface of the skew helicoid with different structural parameters.

Key words: gravity descent, force of gravity, equilibrium of forces, skew helicoid, steady-state regime.

Т. А. Кресан ORCID 0000-0002-8280-9502.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 59-66
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.059-066

УДК 519.8:656.135.073:658.8.036.6:338.432

ASSESSMENT MODEL OF RISK TOLERABILITY LEVEL OF PERISHABLE AGRICULTURAL PRODUCTS TRANSPORTATION

O. M. Zagurskiy

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Ukraine.

Speciality of article: 275 – transport technologies (by road).

Corresponding author: zagurskiy_oleg@ukr.net.

Article history: Received – January 2020, Accepted – April 2020.
Bibl. 8, fig. 2, tabl. 4.

Abstract. The level of risk tolerability for agricultural supply chains due to its characteristics, primarily related to limited shelf life, is a complex indicator that reflects the likelihood of an occurrence and the severity of an adverse event (risk event).

At that, a significant number of external and internal environmental factors expressed in the aggregate of certain indicators have the impact on the fact of the occurrence of a risk event. The significance of these indicators, as well as the vector of their power of influence, is unique to each individual factor. However, transport factors indicators influencing the riskiness of supply chains have the greatest influence and some uniqueness in logistics.

The article proposes the system of factors typified by indicators reflecting the influence of the internal and external environment on the risk level of the transportation process of perishable agricultural products with fuzzy multiple approach being one of the most suitable for the development of the assessment model of logistical risks level in the process of perishable agricultural products transportation.

On the basis of the defined system of indicators, a fuzzy-multiple assessment model of the proposed logistics risk groups tolerability has been developed. In accordance with the defined approach, it is proposed, first of all, to assess the level of tolerability of all possible transportation scenarios implementation accepted apart from economic indicators.

A scenario that does not meet the regulatory norms of the logistical risk tolerability level should be automatically excluded from the list of potential for implementation regardless of its level of economic attractiveness.

Key words: agricultural products, supply chains, risk, metrics, transportation.

Introduction

The level of risk tolerability for agricultural supply chains due to its characteristics, primarily related to limited shelf life, is a complex indicator that reflects the likelihood of an occurrence and the severity of an adverse event (risk event).

At that, a significant number of external and internal environmental factors expressed in the aggregate of certain indicators have the impact on the fact of the occurrence of a risk event.

Formulation of problem

The significance of these indicators, as well as the vector of their power of influence, is unique to each individual factor.

However, transport factors indicators influencing the riskiness of supply chains have the greatest influence and some uniqueness in logistics.

The importance of logistical risks is difficult to overestimate. Thus, according to a survey conducted at the initiative of Oracle [5], more (77%) of the responding companies suffer from unforeseen failures in the "value chains".

Therefore, to determine the systems of factors that influence the level of logistical transportation risk tolerability, it is necessary to conduct theoretical and empirical analysis in terms of the types of these risks.

Analysis of recent research results

It should be noted that Supply Chain Risk Management (SCRM) is a new area of research in the context of the overall Supply Chain Management (SCM) strategy (Nooraie, Parast 2015 [3]). SCRM views risk as a situation that entails the impact of two main elements: incident and uncertainty about possible consequences (Bandaly, Satir, Shanker 2014 [1]; Nyaga, Lynch, Marshall., Ambrose 2013 [4], Vilko, Ritala, Edelmann 2014 [7]).

Given that in today's disordered and highly dynamic market environment, each supply chain is susceptible to devastating effects turbulence creates a situation in which SCRM becomes paramount for

organisational survival and wealth (Wildgoose, Brennan, and Thompson 2012 [8]).

In experts' opinion, it is necessary to develop a comprehensive strategy that meets the following needs. Firstly, they are the strategies that help companies minimize costs and increase customer satisfaction (Chen J, Sohal A. S., Prajogo D. I. (2016) [2]). Secondly, they are the strategies that should enable companies to carry out their operations during and after the incident (Tang, Musa 2011 [6]).

Purpose of research

The purpose of the work is to develop a system of factors expressed in indicators reflecting the influence of the internal and external environment on the risk level of the transportation process of perishable agricultural products.

Results of research

Typically, a risk management system is built in the form of a Deming cycle (or Deming - Schuhart) - PDCA cycle (from words: plan, execute (do), check (check study), act (act)). Therefore, the supply chain risk management cycle can be represented as follows (Fig. 1).

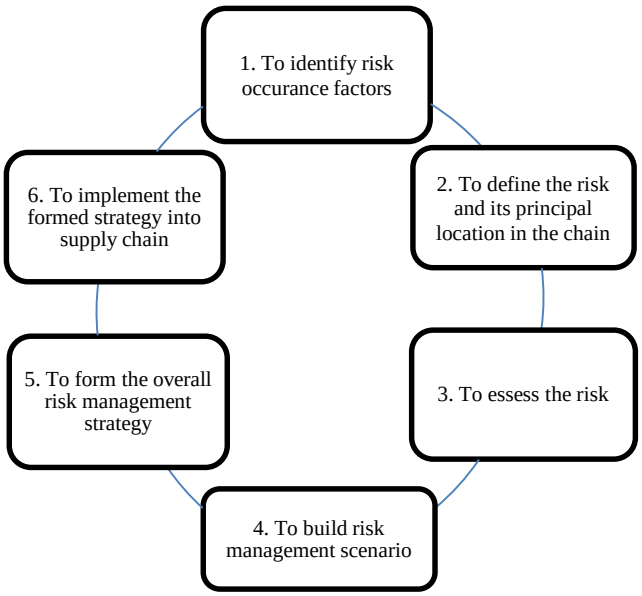


Fig. 1. Supply chain risk management cycle.
Source: Compiled by the author.

The analysis of the risk situation identifies three interrelated conditions: the presence of uncertainty, the analysis of possible development alternatives, and the choice of the ability to assess the likelihood of implementing the chosen risk management options.

It should be noted that in this case only the process of transport logistics of perishable agricultural products is investigated, hence the choice of a particular mode of its transportation. To this end, the most important groups of risk factors associated with this stage of the supply chain will be considered, namely material, operational and social risks.

Consider consecutively the groups given:

Material risks. These risks characterize the cumulative adverse effect on the quantitative and/or qualitative integrity of the goods being carried. The following are the factors that influence the level of these risks:

1. The presence of supervisory staff. The presence of specially trained personnel able to respond in a timely manner to the violation of the conditions of transportation of perishable goods contributes to a significant reduction of the potential loss and the likelihood of realization of a risky situation.

2. The impact of this factor is inverse to the level of risk. The level of influence of this factor can be assessed by the following indicators:

a. The number of supervisory staff. Legend - Fr/m-1. Units are people. Measured statistically. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

b. The qualification of supervisory staff. Legend - Fr/m-2. Units are points. Measured expertly. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

3. Length and specificity of the route. As the length of the journey increases, the likelihood of quantitative and/or qualitative damage to the cargo increases. The impact of this factor is directly related to the level of risk. The level of influence of this factor can be assessed by the following indicators:

a. Cumulative route length. Legend - Fr/m-3. Units of measurement - km. Measured statistically. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

b. The number of accidents committed on the road over the last 2 years according to the statistics of the Ministry of Internal Affairs. Legend - Fr/m-4. Units – pieces (pcs). Measured statistically. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

4. Weather conditions. Worsening of weather conditions can lead to violations of the integrity of the transport packaging, and to the deterioration of the ability to control the transportation process. The impact of this factor is inverse to the level of risk. The level of influence of this factor can be assessed using the indicator:

a. qualitative assessment of the results of the weather forecast. Legend - Fr/ m-5. Units - score. Measured expertly. An increase in this indicator reduces the impact of the factor.

Operational risks. These risks characterize the cumulative adverse effect of external and internal environmental factors on the operation of the freight rolling stock.

The realization of these risks can lead to the realization of environmental risks. However, these risks are largely technical in nature. The following factors can be identified as factors affecting the level of operational risks:

1. Wear of the rolling stock. This factor is crucial in ensuring the continuity of the transportation process. The impact of this factor is directly related to the level of risk. The level of influence of this factor can be assessed by the following indicators:

a. The wear factor of the rolling stock. This indicator is calculated as the accumulated depreciation to the original value of the rolling stock. Legend - Fr/e-1. Units of measurement - %. Measured statistically. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

b. the proportion of regulatory time elapsed since the last scheduled rolling stock maintenance. This figure is calculated as the ratio of the time remaining to the next scheduled maintenance and the regulatory time between scheduled maintenance. Legend - Fr/e-2. Units of measurement - %. Measured statistically. A decrease in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

2. Load on the roadbed. This factor is purely technical. Its impact has a well-defined vector and a direct relationship to the level of risk. The level of influence of this factor can be assessed by the following indicators:

a. exceeding the permissible level of axle load. The calculation of this indicator is carried out by dividing the current level of load by the axis to its normative value. Legend - Fr/e-3. Units of measurement - %. Measured statistically. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

b. exceeding the permissible load level by 1 meter of the roadway. The calculation of this indicator is carried out in accordance with the calculation of the indicator Fr/e-3. Legend - Fr/e-4. Units of measurement - %. Measured statistically. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

2. Wear of pavement. This factor is exclusively external to the transport enterprise. The impact of this factor is directly related to the level of risk. The level of influence of this factor can be assessed by the following indicator:

a. the proportion of regulatory time elapsed since the repair of the road. This figure is calculated as the ratio of the time remaining to the next scheduled maintenance and the regulatory time between scheduled maintenance. Legend - Fr/e-5. Units of measurement - %. Measured statistically. A decrease in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

Social risks. These risks combine a set of adverse events, the source of which is the "human factor". The realization of social risks can lead to operational risks, which in turn can lead to environmental risks. The following are the factors that influence the level of these risks:

1. Sufficiency of the staff. This factor is decisive in terms of the ability to realize social risks. The impact of this factor is directly related to the level of risk. The level of influence of this factor can be assessed by the following indicator:

a. staffing of the enterprise. This indicator is calculated by the ratio of personnel available at the enterprise to the number required for the tasks. Legend - Fr/s-1. Units of measurement - %. Measured statistically. A decrease in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

2. Staff qualification. The impact of this factor is inverse to the level of risk. The level of influence of this factor can be assessed by the following indicator:

a. Average skill level of the staff. This indicator is calculated as the ratio of the sum of qualifications (expressed in points) and the total number of the staff evaluated. Legend - Fr/s-2. Units of measurement - point/person. Measured expertly. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

3. Staff experience. Combined work experience allows the employee to develop practical skills based on algorithms for eliminating the consequences in terms of risk. The nature of the influence of this factor on the integral result is comparable to the nature of the influence of the previous factor. The level of influence of this factor can be assessed by the following indicator:

a. average experience of the staff involved. The calculation of this indicator agrees with the indicator Fr/s-2. Legend - Fr/s-3. Units of measurement - point/person. Measured statistically. An increase in this indicator leads to an increase in the influence of the factor.

The formed system of indicators is rather heterogeneous. The degree of impact of each factor on the integrated indicator as well as each individual indicator on the influence of the factor is different. So, it makes sense to build a balanced scorecard.

The assignment of weight to each of the selected indicators can be carried out using a combined approach, which involves both expert weight distribution and weight distribution in accordance with Fishburn's law.

For these purposes, the factors were ranked by experts by the degree of impact on the end result. In this case, the distribution of weight within the groups themselves is made uniformly to prevent weight gain of those factors, which are assessed by several indicators. The results of the distribution are represented in Fig. 2.

The assessment of all selected groups risk tolerability cannot be provided on the basis of classical methods of risk assessment.

First of all, this is due to the need to use both statistical (formalized) and expert (unformalized) indicators that characterize the level of risk. Moreover, the complexity of the object of study determines the need to identify fuzzy assessment intervals, as well as characterized by the level of confidence of the expert in the conclusions drawn.

Therefore, a fuzzy-multiple approach is one of the most suitable for building an assessment model for the level of logistical risks of perishable agricultural products transportation process.

Building an assessment model using fuzzy logic involves the following steps:

1. Independent variables are selected, the consequence factors that influence the value of the dependent variable.

2. Fuzzy sets of values for independent and dependent variables are described. In this case, instead of numerical values, linguistic terms are used.

3. Output rules are described. Each rule is written as "if" (independent variable is equal to value), "then" (dependent variable is equal to value). In this case, as the "values" are used the linguistic terms described in paragraph 2.

4. Fuzzy sets of the dependent variable are generated based on independent variables and output rules. Software is usually used to implement this step.

5. The result is then used for informed decision making.

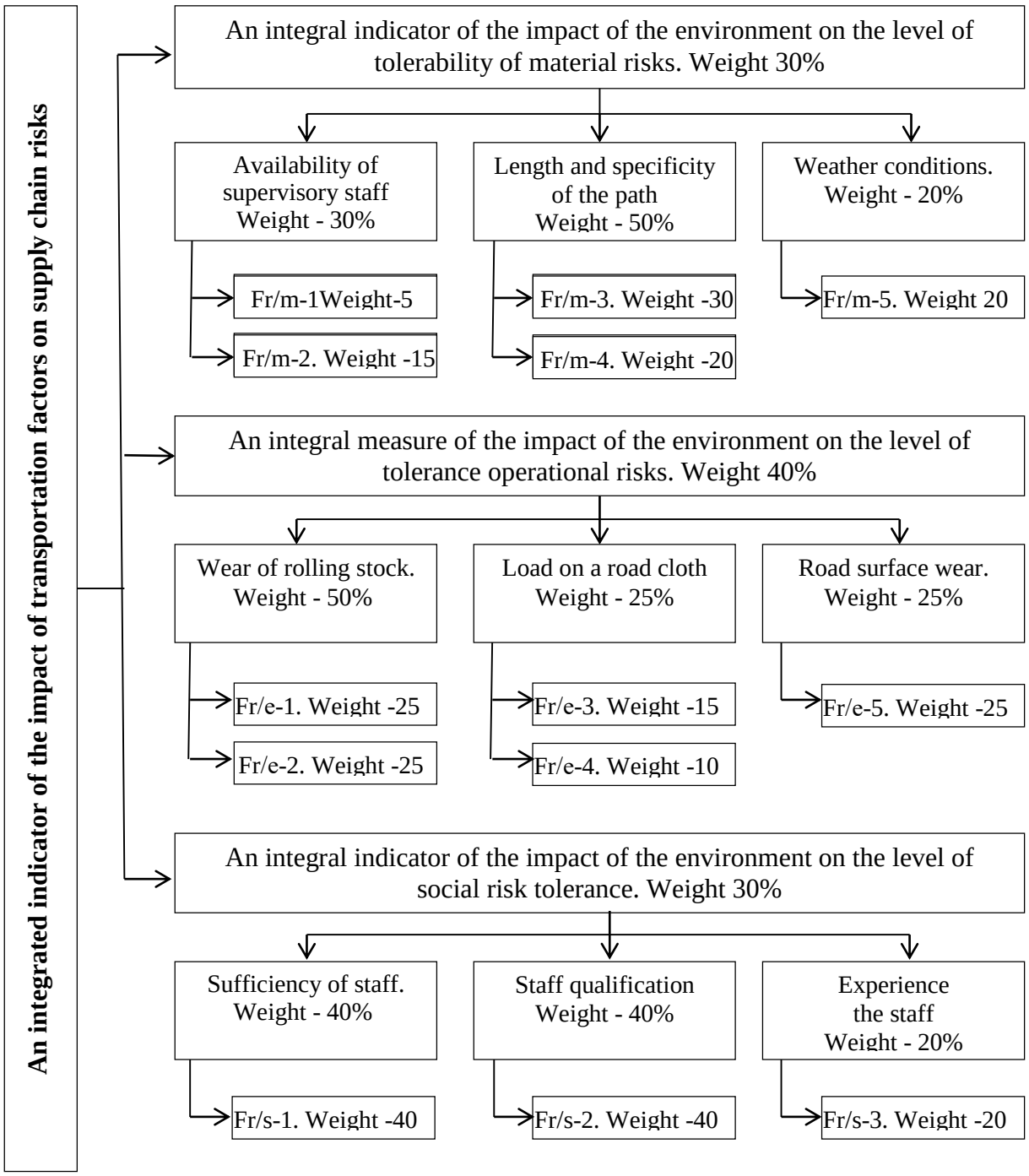


Fig. 2. Balancing weights of the integrated impact model on the risk tolerability level of the transportation process.
Source: Compiled by the author

According to the above algorithm, the stages of modeling occur.

Stage 1 (sets). Introduce the following basic sets and subsets of states described in natural language:

a) The complete set of state G of an enterprise is broken down into five types of subsets:

- G1 - a subset of "extremely low risk probability";
- G2 is a subset of "the degree of risk is negligible";
- G3 is a subset of "medium risk";
- G4 is a subset of "high risk";
- G5 is a subset of "extremely high risk probability".

Hereinafter, we assume that the index G takes a value from zero to one by definition.

We construct a set of individual indicators X = {Xi} by the total number N, which, according to the expert analyst, on the one hand, analyze the likelihood of a risk situation, and, on the other hand, assess the different nature of the transportation process in the supply chain.

Step 3 (Significance). Let us compare each indicator of Xi with the level of its significance for the analysis of ri. To assess this level, you must place all the metrics in descending order $r_1 \geq r_2 \geq ...r_N$ so that the rule is followed. Ranking is by Fishburn rule:

$$r_i = \frac{2(N-i+1)}{(N-1)N} \quad (1)$$

Step 3 (Classification of metric values). The function of the value of the deviation of the factor-consequence is given by a fuzzy set:

$$\mu_{[0;1]}(X_s^r) = \{X_{s_1}^r / V_1, X_{s_2}^r / V_2, ..., X_{s_n}^r / V_n\} \quad (2)$$

where - $X_{s_1}^r, ..., X_{s_n}^r$ the value of the factor after increase,

V1, ..., Vn - subjective estimates of the possibility of corresponding increases in the factor-consequence at a given increase in the factor-cause.

The following is a classification of the current values of X as the criteria for splitting the complete set of its values into subsets of the form B.

Step 4 (Risk classification of the transportation process). We construct a classification of the current value of g, the indicator of riskiness G, as a criterion for the division of this set into subsets.

Step 5 (Classification of metric values). Let us construct a classification of the current values of X as a criterion for splitting the complete set of its values into subsets of the form B.

Table 1. Classification of the current values of indicators X.

Indicator	The criterion of division into subsets				
	B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}	B_{i4}	B_{i5}
X_1	$x_1<b_{11}$	$b_{11}< x_1<b_{12}$	$b_{12}< x_1<b_{13}$	$b_{13}< x_1<b_{14}$	$b_{14}< x_1$
…	…	…	…	…	…
X_N	$x_N<b_{N1}$	$b_{N1}< x_N<b_{N2}$	$b_{N2}< x_N<b_{N3}$	$b_{N3}< x_N<b_{N4}$	$b_{N4}< x_N$

Source: Nedosekin, A.O. Fuzzy-multiple approach to actuarial modeling [Electronic resource] / AO Nedosekin. - Access mode: http: // pensionreform.ru/, free.

Step 6 (Measurement Level Assessment). Let's evaluate the current level of indicators and summarize the results in the table.

Table 2. Assessment of the current level of indicators.

Indicator	The current value
X_1	X_1
…	…
X_N	X_N

Source: Nedosekin, A.O. Fuzzy-multiple approach to actuarial modeling [Electronic resource] / AO Nedosekin. - Access mode: http: // pensionreform.ru, free.

Step 7 (Classification of indicators). We classify the current values of x, where $\lambda_{ij} = 1$if $b_{i(j-1)} < x_i < b_{ij}$, and $\lambda_{ij} = 0$, otherwise (when the value does not fall within the selected classification range).

Table 3. Indicator level classifications.

Indicator	The result of classification into subsets				
	B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}	B_{i4}	B_{i5}
X_1	λ_{11}	λ_{12}	λ_{13}	λ_{14}	λ_{15}
…	…	…	…	…	…
X_N	λ_{N1}	λ_{N2}	λ_{N3}	λ_{N4}	λ_{N5}
Weight (g)	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9

Source: Nedosekin, A.O. Fuzzy-multiple approach to actuarial modeling [Electronic resource] / AO Nedosekin. - Access mode: http: // pensionreform.ru, free.

Step 8 (Risk assessment of the transportation process). Now let's perform formal arithmetic actions to assess the level of investment attractiveness g:

$$g = \sum_{j=1}^{5} g_j \sum_{i=1}^{N} r_i \lambda_{ij} \qquad (3)$$

Step 9 (Linguistic recognition). Classify the obtained value of the degree of risk on the database of Table 4. Thus, our conclusion about the level of riskiness of the transportation process takes on a linguistic form and logistics concept has the following form.

Table 4. Selected metrics classification.

Indicator	The criterion of division into subsets				
	extremely low risk	low risk	average risk	high risk	extremely high risk
The system of fuzzy-multiple classifiers of indicators characterizing the level of material risks tolerability					
Fr/m-1	(1; 1; 3; 5)	(3; 5; 6; 8)	(6; 8; 10; 12)	(10; 12; 13; 15)	(13; 15; +∞; +∞)
Fr/m-2	(1; 1; 2; 3)	(2; 3; 4; 5)	(4; 5; 6; 7)	(6; 7; 8; 10)	(8; 10; 10; 10)
Fr/m-3	(0; 0; 300; 1400)	(300; 1400; 2500; 3600)	(2500; 3600; 4700; 5800)	(4700; 5800; 6900; 8000)	(9100; 10200; +∞; +∞)
Fr/m-4	(0; 0; 2; 4)	(2; 4; 6; 9)	(6; 9; 11; 13)	(11; 13; 15; 17)	(15; 17; +∞; +∞)
Fr/m-5	(1; 1; 2; 3)	(2; 3; 4; 5)	(4; 5; 6; 7)	(6; 7; 8; 10)	(8; 10; 10; 10)
The system of fuzzy-multiple classifiers of indicators characterizing the level of operational risks tolerability					
Fr/e-1	(0; 0; 8; 16)	(8; 16; 24; 32)	(24; 32; 40; 48)	(40; 48; 56; 64)	(56; 64; 100; 100)
Fr/e-2	(0; 0; 11; 23)	(11; 23; 34;45)	(34; 45; 56; 68)	(56; 68; 79; 90)	(79; 90; 100; 100)
Fr/e-3	(0; 0; 5; 10)	(5; 10; 15; 20)	(15; 20; 25; 30)	(25; 30; 35; 40)	(35; 40; +∞; +∞)
Fr/e-4	(0; 0; 4; 8)	(4; 8; 11; 15)	(11; 15; 19; 23)	(19; 23; 26; 30)	(26; 30; +∞; +∞)
Fr/e-5	(0; 0; 12; 25)	(12; 25; 37; 49)	(37; 49; 61; 74)	(61; 74; 86; 98)	(86; 98; 100; 100)
The system of fuzzy-multiple classifiers of indicators characterizing the level of social risks tolerability					
Fr/e-1	(70; 80; 100; 100)	(50; 60; 70; 80)	(30; 40; 50; 60)	(10; 20; 30; 40)	(0; 0; 10; 20)
Fr/e-2	(1; 1; 2; 3)	(2; 3; 4; 5)	(4; 5; 6; 7)	(6; 7; 8; 10)	(8; 10; 10; 10)
Ft/e-3	(1; 1; 2; 3)	(2; 3; 4; 5)	(4; 5; 6; 7)	(6; 7; 8; 10)	(8; 10; 10; 10)

Source: Written by authors based on a fuzzy multiple approach.

.

The results obtained are characterized by two components: a linguistic interpretation of the level of a particular risk and the degree of reliability of the obtained result (Table 4).

First of all, considering the linguistic interpretation of the result obtained by the experts it was found that the border state is the state # 3 - conditionally acceptable level of risk "medium risk". If the transport scenario exceeds the current state and goes into state # 4 - an unacceptable high-risk level of risk - it is automatically discarded. However, since these variables are unclear, the level of classification reliability should be taken into account. Therefore, the rules for acceptable reliability should be established.

The threshold of reliability, in the case of material risks is set at 50%, since they have only 1 level of consequences of implementation. At the same time, operational and social risks have levels 2 and 3, respectively. As a result, the experts have established a 40% confidence level for them. This is primarily due to the fact that they can lead to the realization of environmental risks.

Conclusions

1. The paper proposes a system of factors expressed in indicators reflecting the influence of the internal and external environment on the level of a risk group of perishable agricultural products transportation process. On the basis of the defined system of indicators, a fuzzy-multiple model of assessment of the level of tolerability of the proposed logistics risk groups was formed.

2. In accordance with the defined approach, it is proposed, first of all, to assess the level of tolerability of all possible transportation scenarios implementation accepted apart from economic indicators. A scenario that does not meet the regulatory norms of the logistical risk tolerability level should be automatically excluded from the list of potential for implementation regardless of its level of economic attractiveness.

References

1. *Bandaly D., Satir A., Shanker L.* (2014). Integrated Supply Chain Risk Management via Operational Methods and Financial Instruments, *International Journal of Production Research* 52 (7): 2007-2025.

2. *Chen J, Sohal A. S., Prajogo D. I.* (2016). Supply risk mitigation: a multi-theoretical perspective. Production Planning & Control The Management of Operations Volume 27, Issue 10. 853-863.

3. *Nooraie S. V., Parast M.M.* (2015). A Multi-Objective Approach to Supply Chain Risk Management:

Integrating Visibility with Supply and Demand Risk", *International Journal of Production Econo*mics 161: 192-200.

4. *Nyaga, G. N., Lynch, D. F., Marshall, D., & Ambrose, E.* (2013). Power Asymmetry, Adaptation and Collaboration in Dyadic Relationships Involving a Powerful Partner. Journal of Supply Chain Management, 49(3), 42-65.

5. *Oracle* (2013). Managing the Value Chain in Turbulent Times. Dynamic Markets Limited. Independent Market Research Report Commissioned by Oracle.

6. *Tang O. Musa S. N*. (2011). Identifying Risk Issues and Research Advancements in Supply Chain Risk Management. *International Journal of Production Economics* 133 (1): 25-34.

7. *Vilko J., Ritala P., Edelmann J.* (2014). On Uncertainty in Supply Chain Risk Management. *The International Journal of Logistics Management* 25 (1): 3-19.

8. *Wildgoose, N., P. Brennan, and S. Thompson*. (2012). Understanding Your Supply Chain to Reduce the Risk of Supply Chain Disruption. Journal of Business Continuity & Emergency Planning 6 (1): 55–67.

Список літератури

1. *Bandaly D., Satir A., Shanker L.* Integrated Supply Chain Risk Management via Operational Methods and Financial Instruments, *International Journal of Production Research*. 2014. 52 (7): 2007-2025.

2. *Chen J, Sohal A. S., Prajogo D. I.* Supply risk mitigation: a multi-theoretical perspective. Production Planning & Control The Management of Operations. 2016. Volume 27, Issue 10. 853-863.

3. *Nooraie S. V., Parast M.M.* A Multi-Objective Approach to Supply Chain Risk Management: Integrating Visibility with Supply and Demand Risk", *International Journal of Production Econo*mics. 2015. 161: 192-200.

4. *Nyaga, G. N., Lynch, D. F., Marshall, D., & Ambrose, E.* Power Asymmetry, Adaptation and Collaboration in Dyadic Relationships Involving a Powerful Partner. Journal of Supply Chain Management, 2013, 49(3), 42-65.

5. *Oracle.* Managing the Value Chain in Turbulent Times. Dynamic Markets Limited. Independent Market Research Report Commissioned by Oracle. 2013.

6. *Tang O. Musa S. N*. Identifying Risk Issues and Research Advancements in Supply Chain Risk Management. *International Journal of Production Economics.* 2011. 133 (1): 25-34.

7. *Vilko J., Ritala P., Edelmann J.* On Uncertainty in Supply Chain Risk Management. *The International Journal of Logistics Management*. 2014. 25 (1): 3-19.

8. *Wildgoose, N., P. Brennan, and S. Thompson*. Understanding Your Supply Chain to Reduce the Risk of Supply Chain Disruption. Journal of Business Continuity & Emergency Planning. 2012. 6 (1): 55–67.

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РІВНЯ ДОПУСТИМОСТІ РИЗИКІВ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ШВИДКОПСУВНОЇ АГАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ

О. М. Загурський

Анотація. Рівень допустимості ризику для ланцюгів постачань аграрної продукції внаслідок її особливостей, перш за все пов'язаних із обмеженими термінами зберігання, є комплексним показником, який відображає ймовірність настання і важкість несприятливої події (ризикової події). При цьому, вплив на факт настання ризикової події справляє значна кількість факторів зовнішнього і внутрішнього середовища, виражених в сукупності певних показників.

Значимість даних показників, рівно, як і вектор сили їх впливу, унікальні для кожного окремого фактора. Проте найбільший вплив і певну унікальність мають показники впливу транспортних факторі на ризиковість в логістики ланцюгів постачань.

В статті запропонована системи факторів, виражених в індикативних показниках, що відображають вплив внутрішнього і зовнішнього середовища на рівень ризиковості процесу транспортування швидкопсувних аграрних продуктів.

Одним з найбільш придатних для побудови моделі оцінки рівня допустимості логістичних ризиків процесу транспортування швидкопсувної агарної продукції є нечітко-множинний підхід.

На основі визначеної системи індикативних показників була сформована нечітко-множинна модель оцінки рівня допустимості запропонованих груп логістичних ризиків. Відповідно до визначеного підходу пропонується в першу чергу, незалежно від економічних показників, оцінювати рівень допустимості всіх прийнятих до можливої реалізації сценаріїв транспортування. Сценарій, який не відповідає умовно нормативним значенням допустимості рівня логістичного ризику, повинен бути автоматично виключені зі списку можливих до реалізації незалежно від рівня його економічної привабливості.

Ключові слова: аграрна продукція, ланцюги постачань, ризик, система показників, транспортування.

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ДОПУСТИМОСТИ РИСКОВ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ СКОРОПОРТЯЩЕЙСЯ АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ

О. Н. Загурский

Аннотация. Уровень допустимости риска для цепей поставок аграрной продукции вследствие ее особенностей, прежде всего связанных с ограниченными сроками хранения, является комплексным показателем, который отражает вероятность наступления и тяжесть неблагоприятного (рискового) события. При этом, влияние на факт наступления рискового события производит значительное количество факторов внешней и внутренней среды, выраженных в совокупности определенных показателей.

Значимость данных показателей, ровно, как и вектор силы их влияния, уникальные для каждого отдельного фактора. Однако наибольшее влияние и определенную уникальность имеют показатели воздействия транспортных факторе на рискованность в логистике цепей поставок.

В статье предложена система факторов, выраженных в индикативных показателях, отражающих влияние внутренней и внешней среды на уровень рискованности процесса транспортировки скоропортящихся аграрных продуктов. Одним из наиболее подходящих для построения модели оценки уровня допустимости логистических рисков процесса транспортировки скоропортящейся аграрной продукции является нечетко-множественный подход.

На его основе предложеной системы индикативных показателей была сформирована нечетко-множественная модель оценки уровня допустимости предложенных групп логистических рисков. Согласно ей предлагается в первую очередь, независимо от экономических показателей, оценивать уровень допустимости всех принятых к возможной реализации сценариев транспортировки. Сценарий, который не соответствует условно нормативным значениям допустимости уровня логистического риска, должен быть автоматически исключены из списка возможных к реализации независимо от уровня его экономической привлекательности.

Ключевые слова: аграрная продукция, цепи поставок, риск, система показателей, транспортировки.

О. М. Загурський ORCID 0000-0002-5407-8466.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 67-72*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.067-072

УДК 656.11/.13-049.5 (1-22)

РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У СІЛЬСЬКИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ

І. О. Колосок, М. М. Зеленський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 275 – транспортні технології (на автомобільному транспорті).

Кореспонденція авторів: kolosok@onlain.ua.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 8, рис. 2, табл. 1.

Анотація. За період з 2011 по 2016 рік у дорожньо-транспортних пригодах в Україні загинуло 26,7 тис. осіб, з них 43,7 відсотка – пішоходи і велосипедисти. За оцінкою Світового банку, щорічні втрати в результаті дорожньо-транспортних пригод в Україні становлять близько 4-5 млрд. доларів США. Так, в 2016 році на українських дорогах загинуло майже 3,4 тис. осіб, 33,6 тис. були травмовані. Як зазначається у Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року потребують розв'язання зокрема такі проблеми: високий рівень смертності та травматизму в результаті дорожньо-транспортних пригод; недосконалість системи управління безпекою на транспорті та відсутність єдиного координаційного органу управління безпекою дорожнього руху, що є причиною відсутності цілісної системи державного управління безпекою дорожнього руху; недосконалість систем моніторингу дорожньо-транспортних пригод, їх статистики та управління ризиками; неефективний підхід до розв'язання проблеми високого рівня аварійності та тяжкості її наслідків і створення наукового підґрунтя діяльності у сфері безпеки дорожнього руху; відсутність конкретних вимірних цілей з підвищення рівня безпеки дорожнього руху, відповідного скоординованого плану дій у зазначеній сфері; низький рівень виховання суспільства у сфері безпеки дорожнього руху, власної відповідальності та дотримання правил дорожнього руху тощо.

Для підвищення рівня безпеки дорожнього руху пропонується перелік таких завдань, зокрема: виконання програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху; утворення міжвідомчого органу управління безпекою дорожнього руху; інтеграція модулів з безпеки дорожнього руху до системи освіти; проведення оцінки безпеки наявної дорожньої інфраструктури та запровадження інженерних дій щодо поліпшення показників безпеки, проектування доріг з урахуванням швидкісних режимів; посилення контролю за дотриманням правил дорожнього руху; широке використання інноваційних технологій щодо забезпечення безпеки дорожнього руху; покращення пішохідної інфраструктури, паркувальних зон, обмеження швидкості руху транспортних засобів тощо.

Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, дорожній одяг, дорожні знаки, інтенсивність, пропускна здатність, рівень завантаження, рівень зручності, транспортний потік.

Постановка проблеми

Протягом останніх десятиліть у світі спостерігається стрімке збільшення кількості транспортних засобів та підвищення інтенсивності руху [1], що призводить до збільшення кількості транспортних подій та їх негативних наслідків [2].

Аналіз існуючих проблем у сфері безпеки дорожнього руху в Україні показав [3], що не вирішені принципові питання забезпечення безпеки дорожнього руху [4] і, як наслідок, ситуація, що склалася в умовах бурхливого росту автомобілізації країни постійно погіршується [5].

Ефективність автомобільних перевезень і безпека дорожнього руху взагалі у значній мірі визначаються характером взаємозв'язків у потоці транспортних засобів, що рухаються та основними характеристиками цього потоку [6]. Незнання природи таких взаємозв'язків обмежує можливості управління транспортним потоком та запобігання ДТП [7].

Під час формування інформації про стан і безпеку дорожнього руху в першу чергу необхідні дані, що характеризують транспортний потік, зокрема інтенсивність, склад та швидкість [8]. Показники обліку руху транспортних засобів використовуються під час розробки і проведення заходів із забезпечення безпеки дорожнього руху.

Аналіз останніх досліджень

Проблемі безпеки дорожнього руху присвячені праці багатьох вітчизняних та іноземних науковців: Бабкова В.Ф., Бадаляна А.М., Гаврилова О.А., Дзюби О.П., Дивочкина О.А., Дрю Д., Дереха З.Д., Єресова В.І., Клінковштейна Г.І., Ланового О.Т., Лобанова Є.М., Лук'янова В.В., Поліщука В.П.,

Сіл'янова В.В., Фішельсона М.С., Халберта С., Хомяка Я.В., Четверухіна Б.М., Шештокаса В.В., Юдена К.

Мета досліджень

Метою нашого дослідження є аналіз основних характеристик транспортних потоків та розробка рекомендацій, які суттєво впливають на стан безпеки дорожнього руху у сільських населених пунктах.

Результати досліджень

Аналіз основних характеристик транспортного потоку здійснювався на підставі результатів досліджень студентів-транспортників, які готували до захисту бакалаврські і магістерські роботи на механіко-технологічному факультеті НУБіП України.

В процесі аналізу нами були опрацьовані результати досліджень студентів з визначення інтенсивності, складу та швидкості транспортного потоку на ділянках доріг у селах Київської (Вишгородський, Згурівський, Фастівський, Бориспільський, Яготинський, Ставищенський райони), Хмельницької (Новоушицький район), Вінницької (Шаргородський район), Житомирської (Лугинський, Малинський райони), Чернігівської (Прилуцький район) та інших областей.

Деякі результати дослідження інтенсивності руху на ділянках доріг головних вулиць зведені у табл. 1.

Отримані результати свідчать в основному про невисокі значення інтенсивності транспортного потоку. У складі транспортного потоку переважають велосипеди, мотоцикли без коляски та мопеди, легкові автомобілі, вантажні вантажністю в межах від 1 до 8 т, автопоїзди вантажністю до 12 т, колісні трактори з причепами вантажністю до 10 т, автобуси. В залежності від господарської діяльності у межах населеного пункту на дорогах і вулицях у складі транспортного потоку можуть з'являтися самохідні машини і механізми, які здійснюють переїзд з поля на поле. Враховуючи особливості сільськогосподарського виробництва та наведений склад потоку, відбуваються сезонні коливання інтенсивності та швидкості руху. Швидкість руху у більшості випадків не перевищує вимоги ПДР, а на деяких ділянках значно менша, що пояснюється незадовільним станом дорожнього одягу. Проте порушення швидкісного режиму на окремих ділянках доріг мають місце.

Із зміною інтенсивності руху якісно і кількісно змінюються взаємодії між автомобілями, що рухаються у потоці. Із збільшенням інтенсивності руху знижується швидкість руху, змінюється співвідношення між числом автомобілів, що здійснює обгін і тими, що рухаються у вільному режимі, змінюються умови роботи водія і його емоційний стан. Усі ці зміни в режимі руху і умовах роботи водія призводять до зміни числа ДТП, пропускної здатності доріг, зручності руху та економічності перевезень.

Під час розробки рекомендацій з покращення умов руху на дорогах в сільських населених пунктах необхідно враховувати режими руху потоку автомобілів за різної інтенсивності руху. Це дає можливість призначати заходи, які є найбільш ефективними за інтенсивності руху, що розглядається. Стан потоку автомобілів і умови руху на дорозі характеризуються рівнем зручності рухом, а однією з основних характеристик рівнів зручності є рівень завантаження *z*.

Таблиця 1. Інтенсивність руху транспортного потоку.

Table 1. The intensity of traffic flow.

№	Вулиця, село, район, область	Інтенсивність	
		N_{max}, авт./год.	N, од./год.
Київська область			
1	вулиця Лісова село Хотянівка Вишгородського району	273	309
2	вулиця Леніна село Усівка Згурівського району	44	55
3	вулиці Леніна село Велика Снітинка Фастівського району	27	36
4	вулиця Молодіжна село Велика Олександрівка Бориспільського району	40	48
5	вулиця Андрія Бобира село Ничипорівка Яготинського району	31	33
6	вулиця Леніна село Красилівка Ставищенського району	38	43
Житомирська область			
7	вулиця Залізнична село Пристанційне Малинського району	32	39
8	вулиця Шкільна село Липники Лугинського району	22	26
Інші області			
9	вулиця Леніна село Рахни Лісові Щаргородського району Вінницької області	57	65
10	вулиця Жовтнева село Заборознівці Новоушицького району Хмельницької області	11	14
11	вулиця Івана Франка село Малківка Прилуцького району Чернігівської області	28	68

З урахуванням отриманих результатів щодо основних характеристик транспортних потоків та результатів дослідження дорожніх умов нами були визначено пропускну здатність ділянок доріг за формулою (1) та рівень завантаження:

$$P = \frac{3600 \cdot \nu}{L}, \qquad (1)$$

де P – пропускна здатність однієї смуги руху в одному напрямку, од/год; v – розрахункова швидкість руху, м/с; L – динамічний габарит, м.

Дослідження показали, що значення z у переважній більшості випадків не перевищує 0,2, що відповідає рівню зручності A (рис. 1). І тільки в окремих випадках на ділянках доріг рівень завантаження наближався до значення 0,5, що відповідає рівню зручності $Б$. Це пояснюється особливостями розташування населених пунктів відносно обласних або районних центрів.

Рис. 1. Загальний вид потоку автомобілів за рівня зручності A на ділянці дороги по вулиці Лісова села Хотянівка Вишгородського району (початок літнього періоду).

Fig. 1. General view of the flow of cars at the comfort level A on the section of the road along the Forest Village Khotyanovka Street of the Vyshgorod District (beginning of the summer period).

Необхідно зазначити, що за рівня зручності A основними причинами ДТП є перевищення швидкості руху, втрата управління, неуважність водіїв. Рух здійснюється у вільних умовах з достатньо високими швидкостями. Все це вказує на необхідність застосування засобів регулювання, що попереджають водія про умови руху на дорозі. За рівня зручності A фахівці пропонують такі засоби регулювання, які впливають на безпеку дорожнього руху [2]: розмітка проїзної частини, застосування попереджувальних знаків, напрямні пристрої, в окремих випадках знакі, що обмежують швидкість руху.

За рівня зручності $Б$ основною причиною ДТП є неправильний обгін. У цих умовах найбільш ефективними заходами є обмеження обгонів, та організація їх проведення розміткою, регулювання маневрів автомобілів, швидкостей руху всього потоку та окремих автомобілів. За рівня зручності $Б$ пропонується застосовувати: знаки і розмітку, що обмежують маневр та попереджають про зміну дорожніх умов, світлові інформаційні табло рекомендованих швидкостей руху, багатопозиційні знаки.

Слід зазначити, що на підставі проведених нами досліджень встановлено, що на сучасний стан безпеки дорожнього руху у сільських населених пунктах впливає низка факторів, серед яких можна виділити наступні: невідповідність характеристик параметрів елементів поперечного профілю доріг нормативним вимогам, незадовільний стан дорожнього одягу, часткова або повна відсутність технічних засобів регулювання дорожнього руху, відсутність штучного освітлення проїзної частини або його застарілість та неефективність, особливості складу транспортного потоку, слабкий контроль з боку відповідних органів за дотриманням водіями вимог ПДР, внаслідок чого на дорогах з'являються несправні транспортні засоби, або транспортними засобами керують особи, які не мають посвідчення водія, або ж знаходяться у стані алкогольного сп'яніння.

Таким чином, для підвищення безпеки дорожнього рух у сільських населених пунктах необхідно застосовувати – розмітку проїзної частини, в першу чергу попереджувальні дорожні знаки, в конкретних випадках знакі, що обмежують швидкість руху, напрямні пристрої, розмітку та знаки, якими позначаються пішохідні переходи та зупинки маршрутних транспортних засобів. В залежності від режиму руху потоку автомобілів – знаки та розмітку, що обмежують маневр та попереджають про зміну дорожніх умов, в окремих випадках світлові інформаційні табло рекомендованих швидкостей руху, багатопозиційні знаки.

Слід зазначити, що дорожні знаки у поєднанні з розміткою проїзної частини зосереджують увагу водія на дорожній обстановці та примушують виконувати правильні дії щодо вибору режиму руху транспортного засобу. Бути уважним – значить бути діяльним по відношенню до певного кола об'єктів. Відсутність уваги з боку водія є причиною значної кількості ДТП.

На рис. 2 наведений приклад застосування технічних засобів організації дорожнього руху з урахуванням рівня зручності рухом.

У матеріалах Організації економічного співробітництва і розвитку останніх років виділяються чотири найбільш значимих періоди розвитку поглядів, підходів і практик забезпечення БДР в провідних країнах світу і відповідно чотири послідовні парадигми. Парадигма – це система поглядів, підходів, практик у сфері забезпечення БДР, яка має місце в певні періоди пристосування суспільства до мирного співіснування із зростаючою кількістю автомобілів. Концепція послідовної зміни парадигм щодо забезпечення БДР була сформована низкою британських і американських фахівців на межі 1960-1970-х років [1].

Перша парадигма забезпечення БДР формувалася в період початкового зростання автомобілізації, тобто приблизно до середини 1920-х років в США і до початку Другої світової війни в Західній Європі, Канаді, Австралії. Ключовий термін першої парадигми – організація руху (traffic engineering). У період між винаходом колеса і появою автомобіля основною метою спорудження доріг було "визволити мандрівника з бруду". Друга парадигма панувала в США до початку, а в інших розвинених країнах приблизно до середини, 1960-х років. У зв'язку з визнанням ключовими причинами аварійності індивідуальних особливостей водіїв, їх неадекватних моральних якостей і умінь була прийнята на озброєння концепція "трьох Е" (Enforcement, Education, Engineering – примус, навчання, проектування), запропонована ще в 1920-і роки американським експертом з автострахування Джуліаном Харвеєм. Відповідно акцент був зроблений на сферу навичок, умінь

і психології водіїв. Тоді ж виникає концепція “3D” (Dangerous, Drunk and

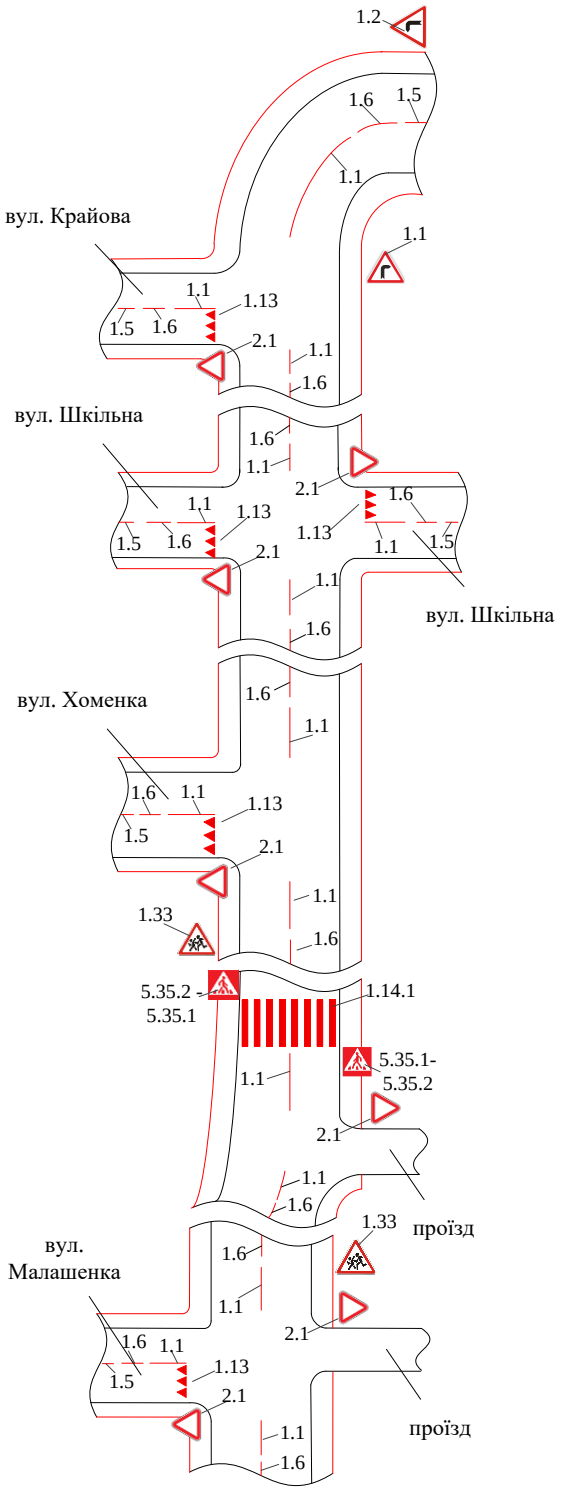


Рис. 2. Заходи з підвищення безпеки руху на ділянці дороги по вулиці Шевченка с. Запрудка, Іванківського району, Київської області.

Fig. 2. Measures to improve traffic safety on the section of road along Shevchenko Street. Zaprudka, Ivankiv district, Kyiv region.

Drugged Driving), суть якої зводиться до виявлення і припинення фактів небезпечного водіння, а також водіння в стані алкогольного і/або наркотичного сп'яніння. Епоха третьої парадигми припала в США на 1970-і роки.

У інших високо автомобілізованих країнах вона тривала від середини 1960-х до середини 1980-х років.

У той період були отримані найцікавіші наукові результати, які дозволили з'ясувати фізичну природу транспортного потоку, і відповідні інженерні наслідки. Деякі з цих результатів вплинули на ідеологію розвитку сучасних систем управління рухом.

Четверта парадигма забезпечення БДР – період дії цієї парадигми в більшості країн світу ще триває, хоча в цілому сьогодні вже можна визначити деякі формальні критерії її завершення.

Основною причиною збереження смертності в ДТП оголошена суто гуманітарна категорія – “ризики незахищеності”. У всіх випадках мова йде про деякі правила і практики, які формують або сприяють подальшому підвищенню БДР і зниженню “ризиків незахищеності”.

Ключову роль у великому спектрі заходів, що були прийняті на місцевому і муніципальному рівнях, грали планувальні рішення, які спрямовані на стримування швидкості руху і мінімізацію ризиків незахищеності пішоходів.

Мова йде про вулиці або інші простори в населених пунктах, які є максимально зручними і безпечними для пішохода і водночас не провокують на інтенсивний і швидкісний рух автомобілів.

Головними трендами п'ятої парадигми (в тих країнах, до яких вона безпосередньо відноситься) стануть: адаптація до нової транспортної реальності, яка обумовлена послідовним стисненням автодорожнього простору, скороченням обсягів дорожнього руху і автотранспортної роботи; адаптація до нової ІСТ-реальності, яка обумовлена тотальним проникненням ІТ-систем і ІТ-гаджетів у будову автомобіля, а також в облаштування автомобільних доріг і міського простору; подальше підвищення ролі і значення інституційних і гуманітарних факторів у забезпеченні БДР.

Враховуючи характерні особливості четвертої та перспективної п’ятої парадигм забезпечення БДР необхідно зазначити, що на дорогах населених пунктів нашої країни, особливо у сільській місцевості заходи з підвищення безпеки дорожнього руху повинні за своїм змістом відповідати світовим практикам у межах четвертої парадигми – стримування швидкості руху транспортних засобів і мінімізація ризиків незахищеності пішоходів.

Висновки

1. Процес формування безпеки дорожнього руху є різнобічним і багатофакторним. Проте є загальні підходи і практики, які дозволяють підвищити безпеку дорожнього руху з урахування аналізу системи “Дорожні умови-транспортні потоки”.

2. Запропоновані нами рекомендації розроблені з урахуванням наукових розробок провідних фахівців-транспортників. Матеріали та висновки дослідження будуть використані у навчальному процесі.

Список літератури

1. *Блинкин М.Я., Решетова Е.М.* Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институции. Москва. Издательский дом Высшей школы экономики, 2013. 240 с.

2. *Сильянов В.В., Домке Э.Р.* Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений. Москва. Издательский центр «Академия», 2009. 352 с.

3. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80 (дата звернення: 20.02.2020).

4. *Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T.* Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. № 1/6 (97). P. 6−12. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150. Scopus.

5. *Виговський С. М., Роговський І. Л.* Імітаційне моделювання фізичних небезпек на виробничих процесах при експлуатації МЕЗ на зерноскладах. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 1. P. 189-194.

6. *Voinalovych Oleksandr, Hnatiuk Oleg, Rogovskii Ivan, Pokutnii Oleksandr*. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18. P. 563−269. DOI: 10.22616/ERDev 2019.18.N245. Scopus. WoS.

7. *Zagurskiy O., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* «Green» supply chain as a path to sustainable development. Mechanisms of stimulation of socio-economic development of regions in conditions of transformation. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2019; ISBN 978-83-946765-7-5; pp. 199-213. pp. 330.

8. *Zagurskiy O., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 2018. P. 64-74.

References

1. Blinkin M.Ya., Reshetova E.M. Road safety: background, international experience, basic institutions. Moscow. Publishing House of the Higher School of Economics, 2013.240 p.

2. Silyanov V.V, Domke E.R. Transport and operational qualities of roads and city streets: a textbook for students higher textbook institutions. Moscow. Academy Publishing Center, 2009. 352 p.

3. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80 (date of the application: 04.20.2020).

4. *Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T.* (2019). Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 1. № 1/6 (97). 6−12. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150. Scopus.

5. *Vyhovsky S. M., Rogovskii I. L.* (2019). Simulation modeling of physical hazards on production processes during operation of MEZ on granaries. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10. No 1. 189-194.

6. *Voinalovych Oleksandr, Hnatiuk Oleg, Rogovskii Ivan, Pokutnii Oleksandr*. (2019). Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, 563−269. DOI: 10.22616/ERDev 2019.18.N245. Scopus. WoS.

7. *Zagurskiy O., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* (2019). «Green» supply chain as a path to sustainable development. Mechanisms of stimulation of socio-economic development of regions in conditions of transformation. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole; ISBN 978-83-946765-7-5; pp. 199-213. pp. 330.

8. *Zagurskiy O., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland. 64-74.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

И. А. Колосок, Н. М. Зеленський

Аннотация. За период с 2011 по 2016 год в дорожно-транспортных происшествиях в Украине погибло 26,7 тыс. человек, из них 43,7 процента – пешеходы и велосипедисты. По оценке Всемирного банка, ежегодные потери в результате дорожно-транспортных происшествий в Украине составляют около 4-5 млрд. долларов США. Так, в 2016 году на украинских дорогах погибло почти 3,4 тыс. человек, 33,6 тыс. были травмированы. Как отмечается в Национальной транспортной стратегии Украины на период до 2030 года требуют решения такие проблемы: высокий уровень смертности и травматизма в результате дорожно-транспортных происшествий; несовершенство системы управления безопасностью на транспорте и отсутствие единого координационного органа управления безопасностью дорожного движения, что является причиной отсутствия целостной системы государственного управления безопасностью дорожного движения; несовершенство систем мониторинга дорожно-транспортных происшествий, их статистики и управления рисками; неэффективный подход к решению проблемы высокого уровня аварийности и тяжести ее последствий и создания научной основы деятельности в сфере безопасности дорожного движения; отсутствие конкретных измеримых целей по повышению уровня безопасности дорожного движения, соответствующего скоординированного плана действий в указанной сфере; ни-

зкий уровень воспитания общества в сфере безопасности дорожного движения, собственной ответственности и соблюдения правил дорожного движения.

Для повышения уровня безопасности дорожного движения предлагается перечень таких задач, в частности: выполнение программы повышения уровня безопасности дорожного движения; создание межведомственного органа управления безопасностью дорожного движения; интеграция модулей по безопасности дорожного движения в системе образования; проведения оценки безопасности существующей дорожной инфраструктуры и внедрение инженерных действий по улучшению показателей безопасности, проектирование дорог с учетом скоростных режимов; усиление контроля за соблюдением правил дорожного движения; широкое использование инновационных технологий по обеспечению безопасности дорожного движения; улучшение пешеходной инфраструктуры, парковочных зон, ограничения скорости движения транспортных средств и тому подобное.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, дорожная одежда, дорожные знаки, интенсивность, пропускная способность, транспортный поток, уровень загрузки, уровень удобства.

GUIDELINES FOR IMPROVING ROAD SAFETY IN RURAL SETTLEMENTS

I. O. Kolosok, M. M. Zelenski

Abstract. For the period from 2011 to 2016 in road accidents in Ukraine have killed 26.7 thousand people, of whom 43.7 per cent were pedestrians and cyclists. The world Bank estimates that annual losses from road accidents in Ukraine is around 4-5 billion USD. So, in 2016, on the Ukrainian roads killed nearly 3.4 thousand people, 33,6 thousand were injured. As noted in the National transport strategy of Ukraine for the period until 2030 require the solution of such problems: the high level of deaths and injuries resulting from road traffic accidents; the imperfection of the safety management system of transport and the lack of a unified coordinating body of management of road safety, which is the reason for the lack of integral system of state management of traffic safety; imperfection of the monitoring systems of road traffic accidents, statistics and risk management; inefficient approach to solving the problem of the high rate of accidents and the severity of its consequences and of establishing the scientific basis of activities in the field of road safety; the lack of specific measurable goals to improve the level of road safety, appropriate coordinated plan of action in this area; low level of education of society in the field of road safety, self-responsibility and respect for the rules of the road.

To increase the level of road safety offered a list of such tasks, in particular: implementation of programmes to improve road safety; the establishment of multisectoral management body of road safety; integration of modules on road safety in the education system; assessing the safety of existing road infrastructure and implementation of engineering actions to improve safety performance, the design of roads subject to speed limits; the strengthening of control over observance of traffic rules; extensive use of innovative technologies to ensure road safety; improving pedestrian infrastructure, Parking areas, speed limits movement of vehicles, and the like.

Key words: bandwidth, level loading, level of convenience, road pavement, road signs, the intensity, traffic accident, traffic flow.

І. О. Колосок ORCID 0000-0001-9543-8782.
М. М. Зеленський ORCID 0000-0002-6427-1743.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 73-79*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.073-079

УДК 001.894.2 : 001.895 : 001.891.55 : 355.415.2 : 355. 69′/′9

METHOD OF FORMATION OF 2-3 TRAILED ROAD TRAINS FOR TRANSPORT OF AGRICULTURAL PRODUCTS BY MILITARY DEPARTMENTS

O. M. Zagurskiy, A. P. Andriyevsky, B. S. Marchenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Ukraine.

Speciality of article: 275 – transport technologies (by road).

Corresponding author: zagurskiy_oleg@ukr.net.

Article history: Received – January 2020, Accepted – April 2020.
Bibl. 7, fig. 6, tabl. 0.

Abstract. The use of auto trains of material support shows that the loading and unloading process, the attachment of loaded trailers to the tractor requires some time, effort and resources. In addition, experience in the use of subdivisions agricultural cargo indicates the need for additional time, effort and resources when attaching loaded trailers to tractor units when the weight of the load does not allow one driver to rotate and direct freely the triangle of the front axle of the trailer with the engagement ring to the traction-coupling device of the tractor

The article describes the possibility of reducing the complexity rigging and coupling of loaded trailers to tractors at places of loading and unloading of agricultural products through the use of advanced coupling equipment. The process of empirical research proved the possibility of increasing efficiency transportation of agricultural goods through the use of a patented technical tool.

Use of the offered vehicles of the domestic manufacturer with traction coupling devices of the proposed sample and rigging equipment will allow you to perform lifting work with a smaller number of cargo teams, that will not only reduce the complexity of the rigging work, but also to save and spend the time, it takes overcoming obstacles by these trains and repairing damaged vehicles.

The proposed traction-coupling device will allow the trailer to be towed to the tractor by one driver. In this case, the advanced traction-coupling device has low material consumption and cost. It can be improved directly at any repair shop of automotive equipment or vehicle base.

Key words: road train, efficiency, cargo equipment, traction device, traction coupling device.

Introduction

Experience in the use of auto trains of material support shows that the loading and unloading process, the attachment of loaded trailers to the tractor requires some time, effort and resources.

At the same time in the places of loading and unloading of transport freight commands are applied at the rate of about 2-6 persons for each unit of the auto train.

Formulation of problem

To transport agricultural products from one machine with a trailer to another, freight teams of 6-8 people are required for each auto train.

The process of attaching loaded auto trailers requires the use of personnel of about 2-4 people for each trailer.

In these cases, a considerable amount of time is spent and the forces of the cargo teams to carry out the work in question.

In addition, the formation of freight teams will cause additional time needed for other activities that are needed for other production processes, which may adversely affect their agricultural production as a whole.

Analysis of recent research results

The order of carrying out of lifting works during transportation of agricultural products is quite widely publicized in the works of scientists [1-7].

However, aspects of reducing time and reducing numbers loaders - riggers required for implementation rigging and coupling works remain insufficiently disclosed.

In addition, problematic issues do not lose their relevance related to the development of recommendations to reduce complexity loading and unloading, rigging works, reducing their time using advanced rigging and coupling equipment.

Purpose of research

The purpose of the study is to investigate the feasibility and feasibility of using advanced tested rigging and traction equipment to reduce the complexity of rigging and trailing work, reducing their time spent.

Results of research

Experience in carrying out lifting works testifies that these works are carried out by means of hoisting machines. But in the case of subdivisions of the trucking unit in different directions their number may not be sufficient to carry out cargo work, which will result in the use of cargo teams separated from the consignee. In the absence of such teams, the time, effort and resources of the trucking units will be spent. In addition, experience in the use of subdivisions agricultural cargo indicates the need for additional time, effort and resources when attaching loaded trailers to tractor units when the weight of the load does not allow one driver to rotate and direct freely the triangle of the front axle of the trailer with the engagement ring to the traction-coupling device of the tractor.

With limited time to meet the needs of consumers in the timely delivery of agricultural products to consumers, there is a need reduction of term of rigging and coupling works. One way to resolve issues that may arise is there are improvements in the delivery of agricultural produce rigging and traction equipment of machines. For use as a tractor for the operation of agricultural enterprises it is advisable to involve cars of domestic manufacturer.

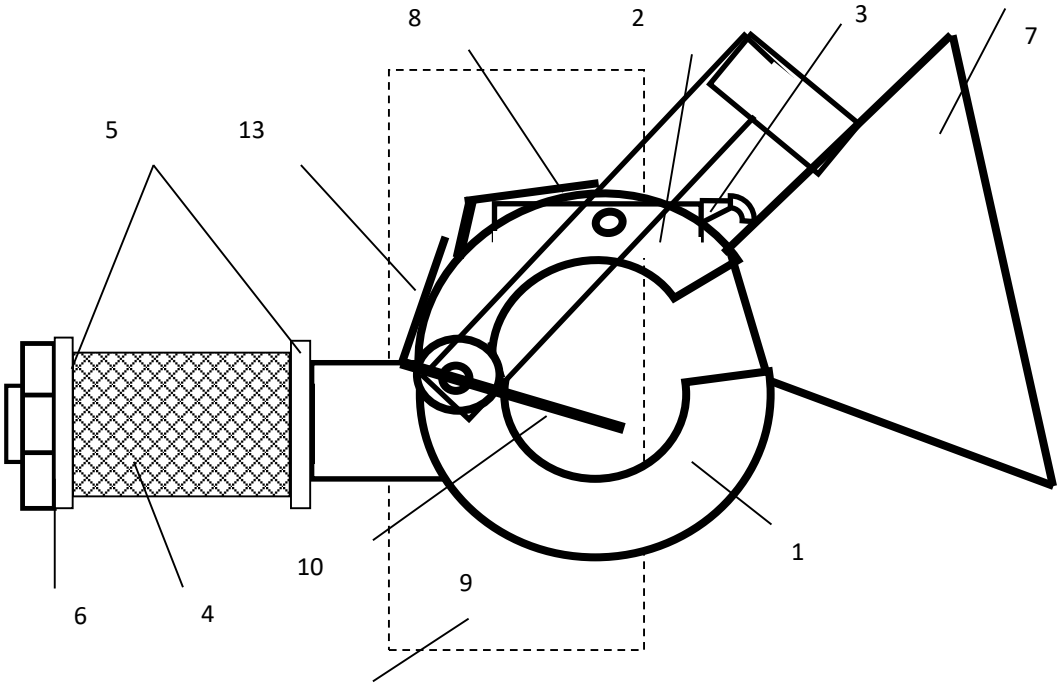


Fig. 1. Traction and coupling device (view from working position).
Source: Compiled by the authors

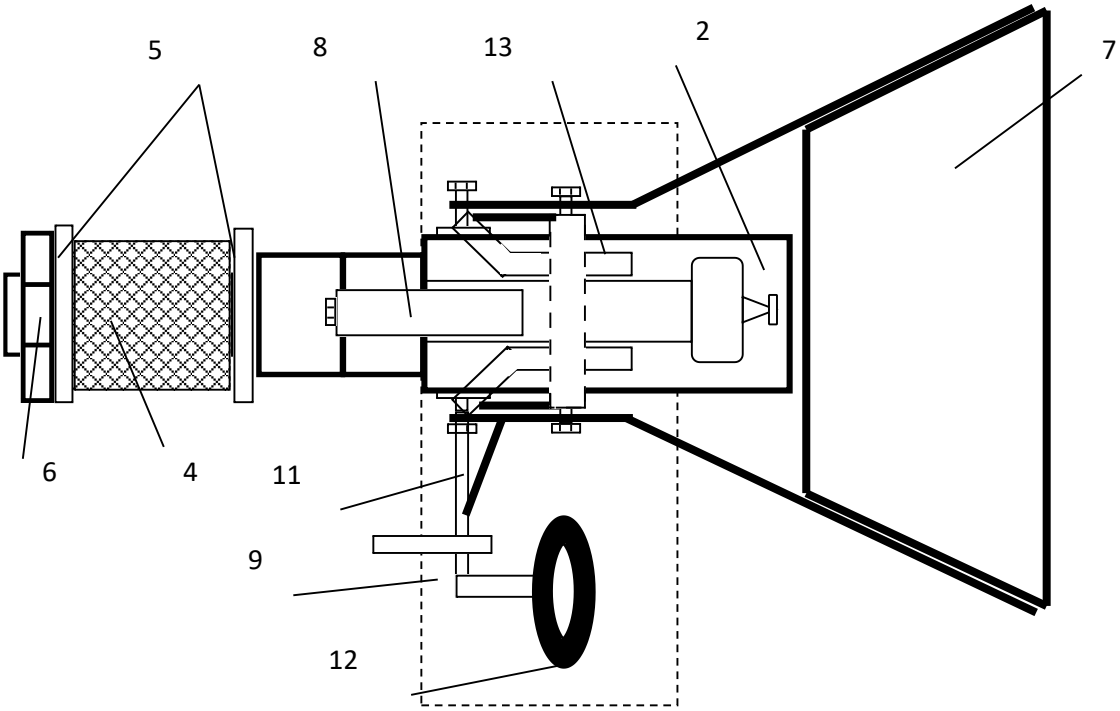


Fig. 2. Traction and coupling device (top view of working position).
Source: Compiled by the authors

Domestic manufacturer can produce tractors with hydraulic crane boom which are appropriate to complete with slings, metal ropes and pallets and apply in agricultural transportation departments to provide lifting work that will ensure a quick overload of containers (packages) with agricultural products for temporary storage areas or to adjacent vehicles, and from them to motor vehicles.

Technological operations during the execution of rigging works. will drive one driver using the crane boom control levers. Use of the considered rigging equipment will save time and will not require the expense of the physical forces of the cargo teams to create additional technical conditions for rigging works related to cargo that has large dimensions.

Unlike existing traction - hooking devices, to reduce the complexity and reduce the hitch time of a loaded trailer. it is proposed to use an improved traction - hooking device.

The traction and coupling device is structurally contained (Fig. 1; 2) forged hook with rod 1, forging hook for hook 2, retaining dog 3, rubber elastic buffer 4 , two thrust washers 5, nut 6, guide sleeve 7, elastic bar 8 of the locking of the locking dog 3 , a mechanism for controlling the engagement 9, containing the lever tracking engagement 10 , clutch control rod 11, clutch control beacon 12 , elastic bar 13 forged latch forged hook 2.

Novelty of technical solution of design, is that it is additionally implemented in the construction of the guide casing 7, elastic bar 8 fixation of the locking dog 3, gear control mechanism 10, containing the lever tracking gear 1, clutch control thrust 11, engagement control beacon 12, elastic bar for fixing the forging of the forged hook.

The use of added components reduces the complexity of the work and reducing the time of engagement of the loaded trailer to the tractor.

Before using the traction device (Fig. 3; 4) mounted on a forged hook latch 2 elastic bar 8 fixation of the locking dog 3 is bent locking dog 3 is removed from the position of the stopper , mounted on levers tracking engagement 9 elastic bar 13 of the locking latch of the forged hook 2 is folded the forged hook 2 latch is pulled open, depending on the open position of the latch forged hook 6 traction control traction 11 moves the beacon to control the engagement 12 through the engagement lever 10 gear control mechanism 9 and informs the driver through the rearview mirror about the open position of the traction device.

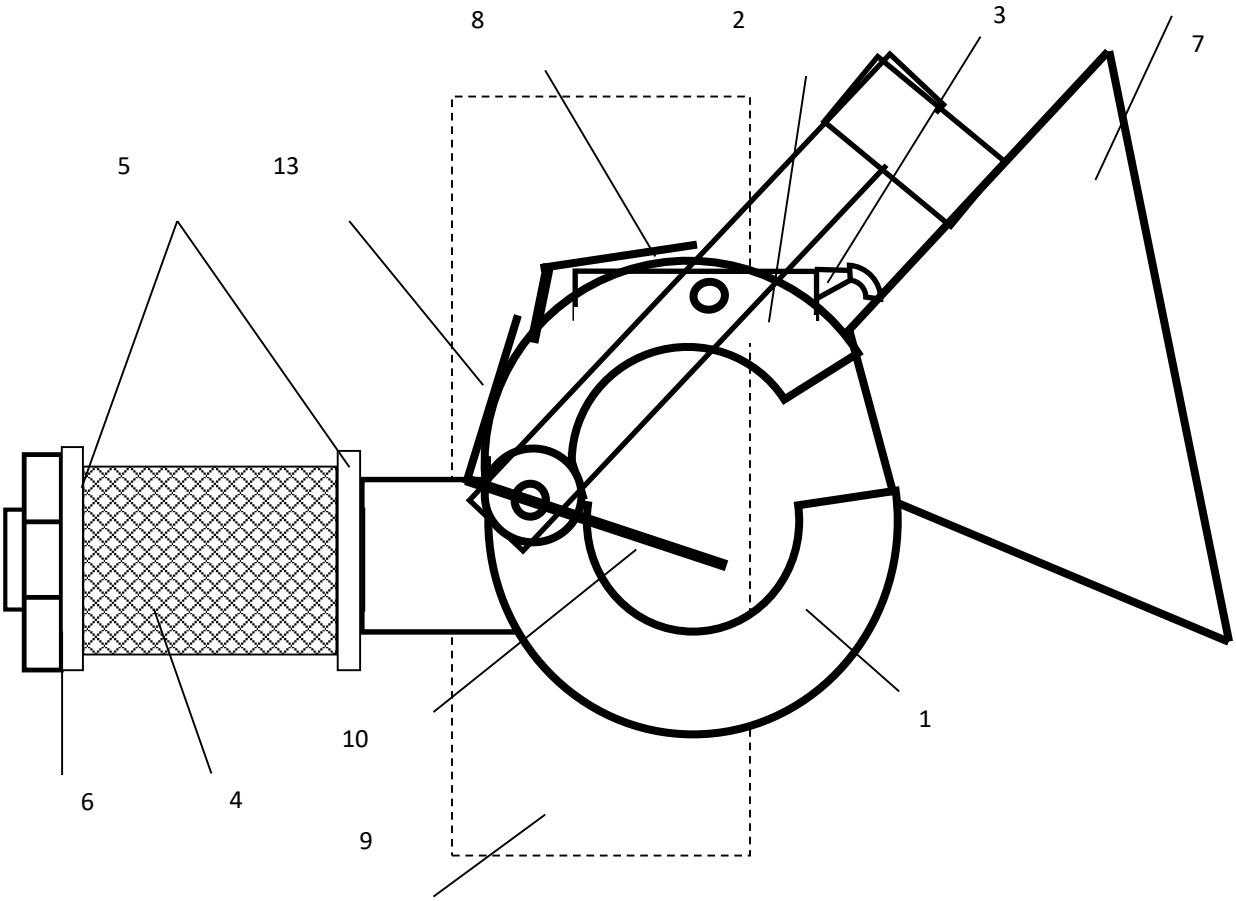


Fig. 3. Traction coupling device (side view of the coupling position).
Source: Compiled by the authors

The tractor moves backwards to the trailer as follows to the direction of movement of the left rear wheel approximately coincided with the direction of the position left wheel trailer In this case, the guide casing 7, fastened to the forged hook hook 2, directs the trailer engagement ring to the forged hook with

rod 1, when the trailer coupling ring enters the forged hook with rod 1 lever tracking engagement 10 pulls the spring bar 13 forged hook hooks 2 and under the action of the force of the elastic strap 13 the forged hook 2 latch will close.

After the hook latch is completely closed 2 elastic straps 8 fixation of the locking dog 3 securely locks the lock dog 3 forged hook latches 2.

The considered traction and coupling device allows to attach the trailer to the tractor by the force of one driver and reduce the complexity of technological work when hitching.

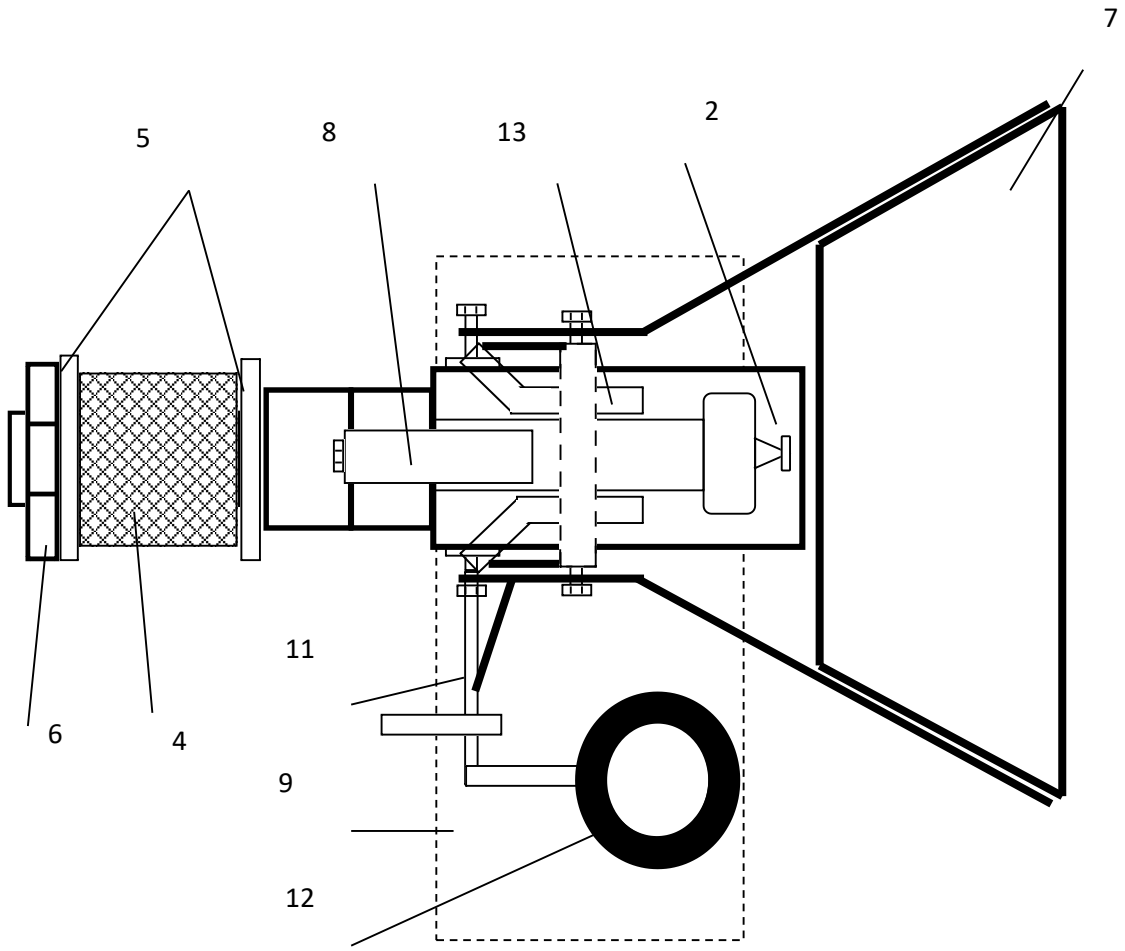


Fig. 4. Traction and coupling device (top view of the coupling position).
Source: Compiled by the authors

The advanced traction and coupling device has a low material capacity and the cost of manufacture. It can be improved directly in any organ repair automotive engineering or automotive base.

It is known that the total duration of unloading and unloading and rigging works T_{tr} consists of individual time events

$$T_{tr} = \sum_{i}^{n_{com}} t_i \quad (1)$$

where i – the unloading and loading number and a rigging event;

n_{com} – the number of loading and unloading and lifting operations and events during transport;

t_i – time required for each event, min. or hour;

or based on (1);

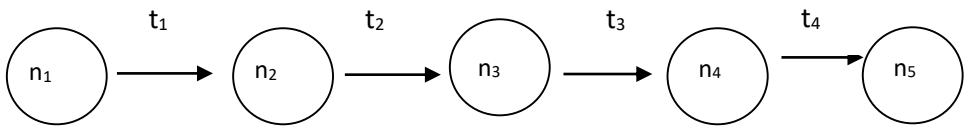
$$T_{tr} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (2)$$

In Fig. 5 shows a typical schedule for the implementation of transport activities during the transport of goods for agricultural purposes.

The tractor moves backwards to the trailer as follows to the direction of movement of the left rear wheel approximately coincided with the direction of the position left wheel trailer In this case, the guide casing 7, fastened to the forged hook hook 2, directs the trailer engagement ring to the forged hook with rod 1, when the trailer coupling ring enters the forged hook with rod 1 lever tracking engagement 10 pulls the spring bar 13 forged hook hooks 2 and under the action of the force of the elastic strap 13 the forged hook 2 latch will close.

After the hook latch is completely closed 2 elastic straps 8 fixation of the locking dog 3 securely locks the lock dog 3 forged hook latches 2. The considered traction and coupling device allows to attach the trailer to the tractor by the force of one driver and reduce the complexity of technological work when hitching.

.



where:

n - is the transport event;

t - time of transport event;

n_1 (t_1) – the event and the time of its implementation for loading cargo into a truck and trailer (trailers);

n_2 (t_2) – event and time of implementation required for adhesion trailers (trailers) to the tractor vehicle;

n_3 (t_3) – event and time of implementation for unloading cargo and trailer (trailer);

n_4 (t_4) – event and time of execution needed. for uncoupling the trailer (trailers) of the tractor vehicle;

n_5 – maintenance and parking of the tractor, trailer (trailers);

Fig. 5. Figure spending time to implement transport measures during the transport of goods for agricultural purposes.

Source: Compiled by the authors

As can be seen from Fig. 6, as compared to transport variant A using a patented traction device transport option B involves much less time and staff,

The time required for transport with the use of a traction coupling device: considering (2) can be described as follows:

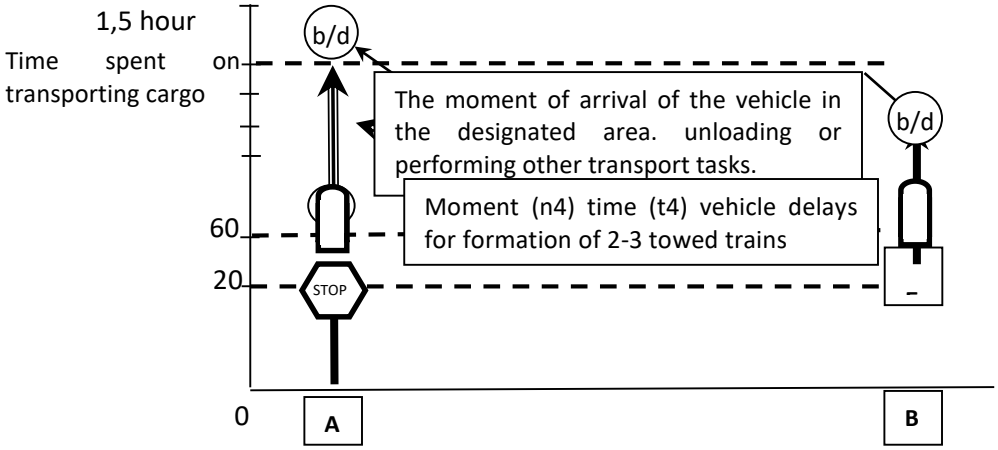
$$Ttr = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 >> T_{tr\,AT} = t_1 + t_2/2 + t_3/2 + t_4 \quad (3)$$

or

$$T_{tr} >> T_{tr}AT \quad (4)$$

In this case (3) time t3 (time of unloading of cargo and trailer (trailers)) as well as the time t5 (the time of maintenance and parking of the tractor, trailer (s)) due to the structural features of the traction coupling device is halved.

.



Legend:

A – duration (Ti) of carriage of goods during transportation without the use of traction coupling device;

B – duration (Ti) of carriage of goods during transportation using a coupling device:

– a vehicle with a crew;

STOP – moment (n4) of time (t4) of vehicle delay for formation of 2-3 towed trains;

– moment of time (t_i) of beginning of continuation of movement of the vehicle;

b/d – the moment the vehicle arrives at the designated unloading area or performing other transport tasks.

Fig. 6. Duration of transportation during transportation of agricultural goods to consumers.

Source: Compiled by the authors

In addition, the practice of using a traction device avoids downtime and lost time stop t4 (time required to uncouple trailer (s) from tractor). Thus in the process of empirical research proved the possibility of increasing efficiency transportation of agricultural goods through the use of a patented technical tool. Total length of cargo transportation Tрзт thus considerably reduced and recorded as follows:

$$T_{tr\,(com)=\sum_i^{n_{tr(com)}} t_i} >> T_{tr\,(com)\text{H}} = \sum_{i\text{H}}^{n_{tr(com)\text{H}}} t_{i\text{H}} \quad (5)$$

Therefore, the trucking unit will perform the transport task more effectively.

Conclusions

1. Use of the offered vehicles of the domestic manufacturer with traction coupling devices of the proposed sample and rigging equipment will allow you to perform lifting work with a smaller number of cargo teams, that will not only reduce the complexity of the rigging work, but also to save and spend the time, it takes overcoming obstacles by these trains and repairing damaged vehicles.

2. The proposed traction-coupling device will allow the trailer to be towed to the tractor by one driver. In this case, the advanced traction-coupling device has low material consumption and cost. It can be improved directly at any repair shop of automotive equipment or vehicle base.

3. The direction of further research may be developing recommendations for improving the structure and methods of application of vehicles through the introduction of other equipment.

References

1. *Burdzik R., Cieśla M., Sładkowski A.*, (2014). Cargo loading and unloading efficiency analysis in multimodal transport. *Intermodal Transport* Review Submitted: Aug. 12, 2013 Approved: July 8. 323-327.

2. *Gollin D., Rogerson R.* (2014). Productivity, transport costs and subsistence agriculture. *Journal of Development Economics* Volume 107, March 2014, 38-48.

3. *Damania R., Berg C., Russ J., Barra F., Nash John, Ali R.* (2017). Agricultural Technology Choice and Transport. *American Journal of Agricultural Economics*, Volume 99, Issue 1, January 2017, 265–284.

4. *Feng J.* (2014). Discussion on the Promotion of Drop-and-Pull Transport Organization Mode of Shandong Province Road Logistics Enterprises 10th Asia Pacific Transportation Development Conference May 25-27, 2014. Beijing, China.

5. *Hübner A., Ostermeier M.* (2019). A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem with Loading and Unloading Costs *Transportation Science* Vol. 53, No. 1 January-February. 282-300.

6. *Shepelev V., Almetova Z. , Shepelev S., Issenova O.* (2018). Optimization of the Operating Parameters of Transport and Warehouse Complexes. *Transportation Research Procedi*a. Volume 30, 236-244

7. *Stella Maris Huertas, Rick E. A. M. Kempener, Frank J. C. M. van Eerdenburg* (2018). Relationship between Methods of Loading and Unloading, Carcass Bruising, and Animal Welfare in the Transportation of Extensively Reared Beef Cattle Animals *Open Access Journal* 2018 Jul; 8(7): 119.

Список літератури

1. *Burdzik R., Cieśla M., Sładkowski A.*, Cargo loading and unloading efficiency analysis in multimodal transport. *Intermodal Transport* Review Submitted: Aug. 12, 2013 Approved: July 8. 2014. P. 323-327.

2. *Gollin D., Rogerson R.* Productivity, transport costs and subsistence agriculture. *Journal of Development Economics* Volume 107, March 2014, P. 38-48.

3. *Damania R., Berg C., Russ J., Barra F., Nash John, Ali R.* Agricultural Technology Choice and Transport. *American Journal of Agricultural Economics*, Volume 99, Issue 1, January 2017, P. 265–284.

4. *Feng J.* Discussion on the Promotion of Drop-and-Pull Transport Organization Mode of Shandong Province Road Logistics Enterprises 10th Asia Pacific Transportation Development Conference May 25-27, 2014. Beijing, China.

5. *Hübner A., Ostermeier M.* A Multi-Compartment Vehicle Routing Problem with Loading and Unloading Costs *Transportation Science*. 2019. Vol. 53, No. 1 January-February. P. 282-300.

6. *Shepelev V., Almetova Z. , Shepelev S., Issenova O.* Optimization of the Operating Parameters of Transport and Warehouse Complexes. *Transportation Research Procedi*a. 2018. Volume 30, P. 236-244

7. *Stella Maris Huertas, Rick E. A. M. Kempener, Frank J. C. M. van Eerdenburg*. Relationship between Methods of Loading and Unloading, Carcass Bruising, and Animal Welfare in the Transportation of Extensively Reared Beef Cattle Animals *Open Access Journal* 2018 Jul; 8(7): P. 119.

СПОСІБ ФОРМУВАННЯ 2-3 ПРИЧЕПНИХ АВТОПОЇЗДІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ ВІЙСЬКОВИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ

О. М. Загурський, А. П. Андрієвський, Б. С. Марченко

Анотація. Досвід застосування автопоїздів матеріального забезпечення показує, що завантажувально-розвантажувальний процес, зачеплення завантажених причепів до тягачів потребують витрачання певного часу, сил та засобів. Крім того, підвезення сільськогосподарських вантажів потребує додаткового часу, сил та засобів під час зачеплення завантажених причепів до автомобілів-тягачів, коли вага вантажу не дозволяє одному водію вільно повернути та спрямувати трикутник передньої вісі причепу з зачіпним кільцем до тягово-зачіпного пристрою тягача.

У статті викладено можливість зниження трудомісткості проведення такелажних робіт та зачеплення завантажених причепів до тягачів у місцях завантаження та розвантаження сільськогосподарської продукції за рахунок застосування удосконаленого зачіпного обладнання. **У** процесі емпіричних досліджень доказано можливість підвищення ефективності транспортування вантажів сільськогосподарського призначення за рахунок застосування запатентованого технічного засобу.

Використання пропонованих транспортних автомобілів вітчизняного виробника з тягово-зачіпними пристроями запропонованого зразка і такелажним обладнанням дозволить виконувати такелажні роботи меншою чисельністю вантажних командах, що дозволить не тільки знизити трудомісткість такелажних робіт, а і зберегти та раціонально витратити час, необхідний для подолання перешкод цими автопоїздами та відновлення пошкоджених транспортних засобів.

Запропонований тягово-зачіпний пристрій дозволить причепити причіп до тягача силою одного водія. При цьому удосконалений тягово-зачіпний пристрій має невисокі матеріалоємність і вартість виготовлення. Він може бути удосконалений безпосередньо будь-якому ремонтному органі автомобільної техніки чи автомобільної бази.

Ключові слова: автопоїзд, ефективність, вантажне обладнання, тягово-зачіпний пристрій.

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ 2-3 ПРИЦЕПНЫХ АВТОПОЕЗДОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ВОЕННЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ

О. Н. Загурский, А. П. Андриевский, Б. С. Марченко

Аннотация. Опыт применения автопоездов материального обеспечения показывает, что погрузочно-разгрузочный процесс, зацепления загруженных прицепов к тягачfv потребует расходования определенного времени, сил и средств. Кроме того, подвоз сельскохозяйственных грузов требует дополнительного времени, сил и средств при зацепления загруженных прицепов к автомобилям-тягачей, когда вес груза не позволяет одному водителю свободно вернуть и направить треугольник передней оси прицепа с зацепными кольцом к тягово-зацепным устройствам тягача.

В статье изложена возможность снижения трудоемкости проведения такелажных работ и зацепления загруженных прицепов к тягачам в местах загрузки и разгрузки сельскохозяйственной продукции за счет применения усовершенствованного зацепного оборудования. В процессе эмпирических исследований доказано возможность повышения эффективности транспортировки грузов сельскохозяйственного назначения за счет применения запатентованного технического средства.

Использование предлагаемых транспортных автомобилей отечественного производителя с тягово-зацепными устройствами предложенного образца и такелажным оборудованием позволит выполнять такелажные работы меньшей численностью грузовых командах, что в свою очередь не только снизит трудоемкость такелажных работ, а и сохранит и рационально использует время, необходимое для преодоления препятствий этими автопоездами а также на восстановление поврежденных транспортных средств.

Предложенное тягово-зацепное устройство позволит прицепить прицеп к тягачу силой одного водителя. При этом усовершенствованное тягово-зацепное устройство имеет невысокую материалоемкость и стоимость изготовления. При этом его еще можно усовершенствовать непосредственно в любом ремонтном органе автомобильной техники или автомобильной базы.

Ключевые слова: автопоезд, эффективность, грузовое оборудование, тягово-зацепное устройство.

О. М. Загурський ORCID 0000-0002-5407-8466.
А. П. Андрієвський ORCID 0000-0003-1896-4011.
Б. С. Марченко ORCID 0000-0003-0076-373X.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 81-86
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.081-086

УДК 658.382(075.8)

NORMATIVE REGULATION OF EMPLOYMENT OF DISTANTLY LEARNING STUDENTS

L. E. Piskunova, T. O. Zubok, M. O. Shkapa

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Ukraine.

Speciality of article: 275 – transport technologies (by road).

Corresponding author: tanyzubok@gmail.com

Article history: Received – January 2020, Accepted – April 2020.
Bibl. 22, fig. 0, tabl. 2.

Abstract. Proper paperwork, observance of the right to preferential working conditions, defined by the current legislation, is the key to successful acquisition of a properly educated employee. While studying distantly and working, students need to know not only their responsibilities but also their rights.

Let us pay attention to the normative regulation of employment of distantly educating students studying at the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine.

In practice, the most common questions are how chiefs treat students of different forms of education - in their opinion, this causes additional costs for different vacations, distracts the employee from work, and when the employee finishes studying, he or she will require to give him a new job in accordance with the education obtained; benefits, because studying (at a distance or evening department of a university) gives the employee a number of benefits, which the company has no right to refuse. Such benefits include, in particular, extra paid holidays in connection with studies in secondary, vocational, higher institutions, educational institutions of postgraduate education and vacation without payment. Is industrial training possible for staff? In the labor legislation of Ukraine, in this sense, provided a number of benefits for workers who improve their qualification level without interruption from production. Thus, Articles 201 and 204 of the Labor Code stipulate that personnel training in this case occure using the expense of the enterprise and during working hours. Is there a fare for the place of study? All employees who reside and work outside the location of the educational institution are entitled to the fare. The employer pays for employees who study at higher education institutions with evening and distance education, to get to the location of the educational institution and back once a year.

Key words: Code of Labor Laws of Ukraine, State Department for Supervision of Labor Legislation Compliance, Instructions on the procedure of keeping employment records, labor legislation, work under employment contract, employment record, part-time, monetary expression, correspondence department.

Introduction

The purpose of our work is to overview some of the most common because of which distantly learning students have so many questions. In the previous articles we raised questions about the normative aspects of employment of day studies students, namely: legality of employment; keeping work books; labor law; work under an employment contract; work of minors, etc.

Formulation of problem

While studying distantly and working along the way, students need to know not only their responsibilities but also their rights. Let us pay attention to the normative regulation of employment of part-time students studying at the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (here in after NULES).

Analysis of recent research results

Most young people today work unofficially, considering this to be superfluous formalities.

But if your job is related to a specialty, the first entry in the employment record will confirm the experience that was gained. In addition, in this way you begin to count down your seniority, which will continue to accrue a pension.

It sounds good, but in practice, employers do not rush to formalize relationships with students both inpatient and correspondence.

Proper registration of documents, observance of the right to preferential working conditions, defined by the current legislation, is the key to successful acquisition of a properly educated employee.

It should be noted here that it is not always a cursory reading of the provisions of the regulations that makes it possible to understand how the employer should act in securing the employee's right to education.

Purpose of research

The purpose of this work is to consider some of the most common situations that, in practice, most often raise questions by students of distance learning.

Results of research

So, let's look at some of the most common situations that often raise questions in practice.

It's not a secret that heading don't approve so much hiring day and distantly learning students, because, in their opinion, this entails additional costs for various vacations, distracts the employee from work, and when the employee completes his or her training, he or she will require a new job to be given to him / her in accordance with the received education. Such managers do not quite understand that in the future they will have a competent, familiar with the features of production, a young but already experienced worker.

There is no doubt that the place of the student's main work is the enterprise where he works. And studying (distantly or evening classes) gives the employee a number of benefits, which the company has no right to refuse. Such benefits include, inter alia, additional paid vacation in connection with studies in secondary, vocational, higher education and postgraduate education and vacation without preservation of payment.

Firstly, let's look at the terms of the extra paid holidays. The right to have such vacations is only granted to employees who successfully study without leaving the production in higher educational establishments with evening and distance forms of studying for the period of preparatory classes, performance of laboratory work, taking tests and examinations, preparation and defense of the diploma project (work) (Art. 216 of the Labor Code and Article 15 of the Law of Ukraine " About vacations " of November 15, 1996 No. 504/96-BP). In accordance with Article 217 of the Labor Code, the average wage is maintained for the employees at their principal place of work during such leave.

Table 1. Duration of vacation by type and form of study.

Type of studying load	Course	Form of studying	The level of accreditation of the educational institution	The duration of vacation
For the period of instructional classes, laboratory work, passing tests and exams	I, II	Evening	I, II	10 calendar days
			III, IV	20 calendar days
	III and next	External form of education	Regardless of the course	30 calendar days
		Evening	I, II	20 calendar days
			III, IV	30 calendar days
		External form of education	Regardless of the course	40 calendar days
For the period of state exams		External and evening	Regardless of the course	30 calendar days
For the period of preparation and protection of the state project		External and evening	I, II	2 months
			III, IV	4 months

The criterion of "success" is not set by law, so studying will be considered successful if the employee does not have poor grades. But in any case, paid leave to eliminate academic debt is not granted, and employees who fail in time or in completion the curriculum, additional leave is granted at the discretion of the enterprise and at the expense of the employee.

The reason for giving an employee additional paid leave in connection with studying is:

• a document (certificate-call for a session), issued by the educational institution in which the employee receives education. Methodists of distance education of NULES of Ukraine prepare documents, which state the period during which the student must participate in the laboratory examination (examination) session, and provide information about his success;

• employee's application for additional leave in connection with studying.

The duration of additional paid leave is established by the Article 216 of the Labor Code and the Article 15 of the Law of Ukraine "About vacations". It depends on the form of education, the type of workload, the course at which the person studies, and the level of accreditation of the educational institution.

For ease of use, information on the duration of vacation by type of studying, we present in Table 1.

For employees studying in higher education institutions with evening and External forms of education, where the educational process has its own peculiarities, the law may set a different duration of study vacation.

Thus, on the basis of the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of June 28, 1997 №634 "On approval of the Procedure, duration and conditions of granting annual vacations to employees, who are studying in higher education institutions with evening and distance learning form of studying, where the educational process

has its own characteristics", exception has only that vacation, which is provided by the Article 15 of the Law of Ukraine "On Vacation", employees, who successfully study in higher educational institutions of all levels of accreditation with evening and extramural forms of education in the areas of training, are also granted annual vacation by industry (Table 2).

Table 2. Duration of additional vacation.

Training direction	Duration of vacation	
	Paid	Unpaid
Culture (folk art) musical art (piano, organ, orchestral strings, wind, percussion, singing, conducting, pop music)	10 calendar days	10 calendar days
Theatrical art (acting, directing, choreography) film and television (film and television directing)	20 calendar days	10 calendar days
Philology (language and literature)	-	10 calendar days

These vacations are granted, respectively, for the period of instructional classes, laboratory work, tests and exams, state exams, preparation and defense of the diploma project (work). Higher education institutions have the right, if necessary, to redistribute additional vacation between courses within the total duration of the educational process.

In practice, the duration of additional leave granted to an employee in connection with training, usually corresponds to the duration of the laboratory-examination (examination) session established by the curriculum of the higher education institution, which is confirmed by the certificate-call for the session, so the duration of such leave may be less than it is provided by the Article 216 of the Labor Code and Article 15 of the Law of Ukraine "On Vacation". In this case, drawing up an order about giving an additional study vacation, it is necessary to determine its duration based on the number of days specified in the notification for a session.

Additional paid study vacation is granted to the employee for the entire period of the session and does not depend on the term of his continuous work in the first year of work at the enterprise. In addition, according to paragraph 4 of Article 11 of the Law of Ukraine "On Vacation", if the annual leave coincides with the leave in connection with studies, such annual leave may be postponed to another period or, at the request of the employee, extended.

Employees who successfully study in the evening departments of vocational schools are provided with additional paid vacation to prepare for exams and taking them for a total of 35 calendar days during the school year. The application of this article in practice is in fact limited to granting such vacation to employees who acquire new professions in the areas of work of enterprises and, with some exceptions, at the initiative of the employer.

Additional paid leave is also granted to employees, who are admitted to the entrance examinations to graduate school with or without separation from work, to prepare and take exams once a year at the rate of 10 calendar days for each exam.

Workers who study full-time in postgraduate studies and successfully complete an individual training plan are provided with additional paid leave for 30 calendar days and, if they wish, for four years of study - one day off per week with a payment of 50 percent. from the average salary of the employee.

Article 25 of the Law of Ukraine "On Vacation" defines the duration of vacation without payment, which is provided to the employee in a mandatory manner:

• employees admitted to entrance exams to higher education institutions - for a period of 15 calendar days without taking into account the time required to travel to the location of the educational institution and back. This vacation is granted regardless of the level of accreditation of the educational institution. The basis for its giving is the application of the employee and the notification of the educational institution about the admission to the entrance exams;

• employees admitted to the entrance examinations for postgraduate studies with or without on-the-job work, as well as employees who study full-time in postgraduate studies and successfully complete an individual training plan - the duration required to travel to the location of the higher education institution or institution of science and ba ck.

In addition, postgraduate students, who are studying on-the-job, are provided with one day off per week without pay during the fourth year of study, if they wish so.

Separately, we would like to dwell on the industrial training of staff. The labor legislation of Ukraine in this regard provides a number of benefits for employees who increase their skills on-the-job. Thus, Articles 201 and 204 of the Labor Code stipulate that staff training in this case takes place at the expense of the enterprise and during working hours.

However, due to the large migration of labor resources in Ukraine at the moment, it is unprofitable for the owner to invest in staff training at the expense of the company, because the specialist after training can go to work for a competitor. To get out of this situation, the employer often tries to select already trained staff by someone and somehow. So, no one wants to be a "smithy of workers" for other companies. Thus, the head of the enterprise continues to spend money in vain (and possibly lose its regular customers), because a new employee, even a trained one, needs some time for internal adaptation to the enterprise and to the production process itself.

In order to avoid any unpleasant situations, the employer must still "grow" educated and professionally competent staff at the company, taking into account, of course, the requirements of current labor legislation of Ukraine.

However, we should not forget about another point. The legislation of Ukraine does not prohibit the employer before the start of staff training to enter into a civil contract with each employee that the training of new professions (development of new technologies, training, etc.) will be carried out at the expense of the company with the provision of all benefits and guarantees Ukraine, however, after completing the training course, the employee will be required to work at the company for a certain period of time (six months, a year, two or other terms - depending on the amount of money, invested in his studies). In the case of early dismissal of an employee (regardless of the reasons for dismissal, except for conscription for military or alternative service, election to an elected position or death of the employee), the latter will be obliged to reimburse the cost of training based on time already worked. It will be easy for the economist or accountant to calculate the period for which the tuition fee must be reimbursed.

Thus, a well-written contract, which provides for the rights and obligations of the parties (employer and employee), will allow:

a) the employee:

• increase their professional and qualification level;

• have certain prospects, stable work and earnings;

• be properly motivated for the purpose and objectives of the enterprise;

• derive certain personal benefits from it;

b) the owner:

• have competent, trained staff at the enterprise;

• be able to avoid aimless and constant investment in the training of employees who change frequently;

• sharply reduce staff turnover;

• increase productivity and quality of work;

• improve the quality of products or services;

• to raise the image of the company in the region, demonstrating its stability and compliance with the law, as well as the prospects and professionalism of its employees, which is also probably an important factor in successful work.

The labor legislation of Ukraine provides also other benefits for employees who combine work with training. Thus, employees who study in the last years of higher education institutions, during the ten academic months before the start of the diploma project (work) or state exams are given a weekly, with a six-day working week, one day off to prepare for classes with payment in in the amount of 50 percent of the received salary, but not lower than the minimum salary. During a five-day work week, the number of days off varies depending on the duration of the work shift, provided that the total number of hours off is maintained.

During the ten academic months before the start of the diploma project (work) or passing the state exams, employees may, at their request, be provided with one or two additional days off per week without pay.

All employees who do not live and work outside the location of the educational institution have the right to have the paid travel. The employer pays employees who study in higher education institutions with evening and correspondence forms of education, travel to the location of the educational institution and back once a year for tutoring, for laboratory work and tests and exams - in the amount of 50 percent of the fare (ie one-way fare). It should be noted that the Labor Code does not set restrictions on the type (class) of transport for which benefits are provided. In NULES, sessions with planned disciplines are composed in such a way that in one session students take disciplines, show their level of knowledge and listen to instructive lectures, receive independent assignments in subjects for the next session.

The same amount is used to pay for the preparation and defense of a diploma project (work) or to pass state exams.

Conclusions

1. As you can see, the number of benefits for employees who combine work with training is quite significant. But in practice not all of them are used. Modern forms of organization of the educational process in educational institutions allow the employee to receive education in his spare time (evening or weekends), so the employer in some cases may not even know about the employee's training.

2. In any case, an employee who intends to get an education or training and does not find understanding and support from the employer, should be aware that in today's labor market chance to win the competition has only a highly qualified specialist with experience and quality education. So learn by working.

3. And the employer, despite the number of benefits he has to provide to the employee, must remember that an employee who has become a specialist thanks to the company will work hard, willing to contribute to the prosperity of the company.

References

1. The Law of Ukraine "On Occupational Safety" in the wording of November 21, 2002.

2. The Law of Ukraine "On Compulsory State Social Insurance against Accident at Work and Occupational Disease that Caused Disability".

3. Legislation of Ukraine on labor protection (a collection of normative documents., 4 t. - K .: State Committee of Ukraine for Supervision of Labor Protection, Osnova, 1995.

4. The Law of Ukraine "On Education" No. 1060-XII of 23.05.1991 (subparagraph 14, paragraph 1, Article 51) and the Law of Ukraine "On Higher Education" dated July 1, 2014, No. 1556-VII (paragraph 3 of clause 1 Article 62).

5. Law of Ukraine "On Employment of the Population" of 1 March 1991 No. 803-XII.

6. Article 15 of the Law of Ukraine "On Vacations" dated November 15, 1996 No. 504/96-VR).

7. The Code of Labor Laws of Ukraine (Revision of 10.11.2018, basis -2542-VIII).

(Article 2, Part 2 of Article 24, Articles 38, 39, 40, Part 1, Article 48, Article 50, Article 51, Part 1, Article 56, Article 94, Article 187- 200; st.201-204;) st.216-217; p.6 pp. 1 pp. 232; Part 6 of the Art. 235,238.

8. Art. 1 ЗУ "About payment of labor" dated March 24, 1995, № 108/95-ВР).

Part 1 of Art. 4 lesson № 5067-VI

9. pp. 7 clause 1 of Art. 1 Law of Ukraine "On Employment of the Population" dated 05.07.2012 No. 5067-VI (hereinafter - the Law № 5067-VI).

10. Letter of the Ministry of Social Policy of 05.05.2015 № 198/06 / 186-15.

11. Letter of the Ministry of Social Policy of Ukraine dated July 25, 2014 № 301/13 / 116-14.

12. Letter from the State Department for Supervision of Compliance with the Labor Law of August 8, 2002, No. 010-777.

13. Clause 1.4. Instruction on the procedure for conducting work books of workers (approved by the order of the Ministry of Labor of Ukraine, Ministry of Justice of Ukraine, Ministry of Social Protection of the Population of Ukraine dated July 29, 1993 No. 58).

14. Letter from the State Department for Supervision of Compliance with the Labor Law of August 20, 2003 No. 013-1229-22.

15. Resolution of the Plenary Session of the Supreme Court of Ukraine "On the Practice of the Application by the Courts of Labor Payments Legislation" of December 24, 1999, No. 13.

16. Part 3, Clause 14 of the Resolution of the Supreme Court of Ukraine "On the Practice of the Use by the Courts of the Law on Remuneration of Work" of December 24, 1999, No. 13.

17. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 28 June 1997. No. 634 "On Approval of the Procedure, Duration and Conditions for the Provision of Annual Vacations for Workers Studying at Higher Educational Institutions with Evening and Extramural Forms of Education, where the educational process has its own peculiarities".

18. State sanitary norms and rules "Hygienic classification of labor on the indicators of harmfulness and danger factors of the production environment, the severity and intensity of the labor process", approved by the order of the Ministry of Health of Ukraine from 08.04.2014 number 248.

19. Order of the Ministry of Health of Ukraine of 25.05.2006 № 319.

20. Order of the Ministry of Labor and Social Policy of Ukraine dated March 23, 2001 №122.

21. The procedure for the certification of workplaces under the terms of work, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine from 01.08.92, No. 442.

22. Fundamentals of labor protection: the textbook. Zaporozhets O.I .; ed. prof. OI Zaporozhets. Kyiv: Publishing Center of the Central Library, 2018. 264.

Список літератури

1. The Law of Ukraine "On Occupational Safety" in the wording of November 21, 2002

2. The Law of Ukraine "On Compulsory State Social Insurance against Accident at Work and Occupational Disease that Caused Disability".

3. Legislation of Ukraine on labor protection (a collection of normative documents., 4 t. - K .: State Committee of Ukraine for Supervision of Labor Protection, Osnova, 1995.

4. The Law of Ukraine "On Education" No. 1060-XII of 23.05.1991 (subparagraph 14, paragraph 1, Article 51) and the Law of Ukraine "On Higher Education" dated July 1, 2014, No. 1556-VII (paragraph 3 of clause 1 Article 62)

5. Law of Ukraine "On Employment of the Population" of 1 March 1991 No. 803-XII

6. Article 15 of the Law of Ukraine "On Vacations" dated November 15, 1996 No. 504/96-VR).

7. The Code of Labor Laws of Ukraine (Revision of 10.11.2018, basis -2542-VIII)

(Article 2, Part 2 of Article 24, Articles 38, 39, 40, Part 1, Article 48, Article 50, Article 51, Part 1, Article 56, Article 94, Article 187- 200; st.201-204;) st.216-217; p.6 pp. 1 pp. 232; Part 6 of the Art. 235,238.

8. Art. 1 ЗУ "About payment of labor" dated March 24, 1995, № 108/95-ВР).

Part 1 of Art. 4 lesson № 5067-VI

9. pp. 7 clause 1 of Art. 1 Law of Ukraine "On Employment of the Population" dated 05.07.2012 No. 5067-VI (hereinafter - the Law № 5067-VI)

10. Letter of the Ministry of Social Policy of 05.05.2015 № 198/06 / 186-15.

11. Letter of the Ministry of Social Policy of Ukraine dated July 25, 2014 № 301/13 / 116-14

12. Letter from the State Department for Supervision of Compliance with the Labor Law of August 8, 2002, No. 010-777.

13. Clause 1.4. Instruction on the procedure for conducting work books of workers (approved by the order of the Ministry of Labor of Ukraine, Ministry of Justice of Ukraine, Ministry of Social Protection of the Population of Ukraine dated July 29, 1993 No. 58)

14. Letter from the State Department for Supervision of Compliance with the Labor Law of August 20, 2003 No. 013-1229-22

15. Resolution of the Plenary Session of the Supreme Court of Ukraine "On the Practice of the Application by the Courts of Labor Payments Legislation" of December 24, 1999, No. 13.

16. Part 3, Clause 14 of the Resolution of the Supreme Court of Ukraine "On the Practice of the Use by the Courts of the Law on Remuneration of Work" of December 24, 1999, No. 13.

17. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 28 June 1997. No. 634 "On Approval of the Procedure, Duration and Conditions for the Provision of Annual Vacations for Workers Studying at Higher Educational Institutions with Evening and Extramural Forms of Education, where the educational process has its own peculiarities".

18. State sanitary norms and rules "Hygienic classification of labor on the indicators of harmfulness and danger factors of the production environment, the severity and intensity of the labor process", approved by the order of the Ministry of Health of Ukraine from 08.04.2014 number 248.

19. Order of the Ministry of Health of Ukraine of 25.05.2006 № 319.

20. Order of the Ministry of Labor and Social Policy of Ukraine dated March 23, 2001 №122

21. The procedure for the certification of workplaces under the terms of work, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine from 01.08.92, No. 442.

22. Fundamentals of labor protection: the textbook. Zaporozhets O.I .; ed. prof. OI Zaporozhets - Kyiv: Publishing Center of the Central Library, 2018. 264 p.

НОРМАТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПРАЦЕВЛАШТУВАННЯ СТУДЕНТІВ, ЩО НАВЧАЮТЬСЯ НА ЗАОЧНОМУ ВІДДІЛЕННІ

Л. Е. Піскунова, Т. О. Зубок, М. О. Шкапа

Анотація. Належне оформлення документів, дотримання права на пільгові умови праці, визначені чинним законодавством, є запорукою успішного набуття належно освіченого працівника. Навчаючись віддалено і працюючи, студентам потрібно знати не тільки свої обов'язки, але і свої права.

Звернемо увагу на нормативне регулювання зайнятості студентів, які навчаються на дистанційному рівні в Національному університеті біоресурсів та природокористування України.

На практиці найпоширеніші питання полягають у тому, як начальники ставляться до студентів різних форм навчання - на їхню думку, це спричиняє додаткові витрати на різні канікули, відволікає працівника від роботи, а коли працівник закінчить навчання, йому потрібно буде дати йому нову роботу відповідно до здобутої освіти; вигоди, оскільки навчання (на дистанційному або вечірньому відділенні університету) дає працівникові ряд пільг, від яких компанія не має права відмовляти. До таких пільг належать, зокрема, додаткові оплачувані відпустки у зв’язку з навчанням у середніх, професійно-технічних, вищих закладах, навчальних закладах післядипломної освіти та відпустки без оплати. Чи можливе виробниче навчання персоналу? У законодавстві про працю України в цьому сенсі передбачено ряд пільг для працівників, які підвищують свій кваліфікаційний рівень без відриву від виробництва. Так, статтями 201 та 204 КЗпП визначено, що навчання персоналу в цьому випадку відбувається за рахунок коштів підприємства та в робочий час. Чи є тариф на місце навчання? Усі працівники, які проживають та працюють за межами місцезнаходження навчального закладу, мають право на проїзд. Роботодавець оплачує працівникам, які навчаються у вищих навчальних закладах з вечірньою та дистанційною освітою, потрапляти до місця навчання та назад раз на рік.

Ключові слова: Кодекс законів про працю України, Державний департамент нагляду за додержанням законодавства про працю, Інструкції про порядок ведення трудових книжок, трудове законодавство, робота за трудовим договором, трудова книжка, сумісництво, грошовий вираз, заочне відділення.

НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОТОУСТРОЙСТВА СТУДЕНТОВ, КОТОРЫЕ УЧАТЬСЯ НА ЗАОЧНОМ ОТДЕЛЕНИИ

Л. Э. Пискунова, Т. А. Зубок, М. О. Шкапа

Аннотация. Правильное оформление документов, соблюдение права на льготные условия труда, определенные действующим законодательством, является залогом успешного приобретения должным образом образованного работника. При обучении на расстоянии и работе ученики должны знать не только свои обязанности, но и свои права.

Обратим внимание на нормативное регулирование трудоустройства дистанционно обучающихся студентов, обучающихся в Национальном университете естественных и общественных наук Украины.

На практике наиболее распространенными вопросами являются то, как начальники относятся к учащимся разных форм обучения - по их мнению, это вызывает дополнительные расходы на разные каникулы, отвлекает работника от работы, а когда работник заканчивает учебу, ему или ей потребуется дать ему новая работа в соответствии с полученным образованием; льготы, потому что обучение (на заочном или вечернем отделении университета) дает работнику ряд льгот, от которых компания не имеет права отказываться. К таким льготам относятся, в частности, дополнительные оплачиваемые отпуска в связи с обучением в средних, профессиональных, высших учебных заведениях, учебных заведениях последипломного образования и оплачиваемых отпусках. Возможно ли производственное обучение персонала? В трудовом законодательстве Украины в этом смысле предусмотрен ряд льгот для работников, которые повышают свой уровень квалификации без отрыва от производства. Так, статьи 201 и 204 Трудового кодекса предусматривают, что обучение персонала в этом случае происходит за счет средств предприятия и в рабочее время. Есть ли плата за место учебы? Все сотрудники, которые проживают и работают за пределами учебного заведения, имеют право на оплату проезда. Работодатель оплачивает сотрудникам, которые учатся в высших учебных заведениях с вечерним и дистанционным образованием, чтобы добраться до места нахождения учебного заведения и обратно один раз в год.

Ключевые слова: Кодекс законов о труде Украины, Государственный департамент надзора за соблюдением законодательства о труде, Инструкции о порядке ведения трудовых книжек, трудовое законодательство, работа по трудовому договору, трудовая книжка, совместительство, денежное выражение, заочное отделение.

Л. Е. Піскунова ORCID 0000-0002-6351-0660.
Т. О. Зубок ORCID 0000-0001-7559-0859.
М. О. Шкапа ORCID 0000-0003-3607-6712.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 87-94*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.087-094

УДК 693.546

ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРЕРОБКИ РИЦИНИ НА МАЛОТОННАЖНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

В. В. Дідур[1], А. Б. Чебанов[2], С. М. Грушецький[3], Є. А. Петриченко[1]

[1]Уманський національний університет садівництва, Україна.
[2]Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна.
[3]Подільський державний аграрно-технічний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: didur.vv@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 13, рис. 1, табл. 4.

Анотація. Робота присвячена дослідженням технологій і експериментального устаткування технологічної лінії по глибокій переробці насіння рицини в касторову олію для виробництва мастил для сільськогосподарської техніки і кормової макухи.

Касторова олія є стратегічною сировиною, тому що використовується в багатьох галузях народного господарства, зокрема у сільському господарстві. Усі існуючі способи переробки насіння рицини можна розділити на два методи витягу олії із насіння: механічне віджимання олії, назване методом пресування, і розчинення олії в легколетких органічних розчинниках, або метод екстракції. Ці два методи використовуються в технології виробництва рослинних олій або самостійно, або в сполученні одного з іншим.

Для умов малотоннажного виробництва в статті запропонована операційно-технологічна схема переробки насіння рицини дворазовим пресуванням з принциповими відмінностями від існуючих технологій переробки насіння рицини. Запропонована безекстракційна технологія переробки рицини методом двохкратного пресування для умов малотоннажного виробництва відрізняється від відомих технологій тим, що вона передбачає використання ряду додаткових технологічних операцій таких як: калібровка насіння, обрушення лушпиння, пневмосепарація лушпиння та очищення віджатої олії шляхом електрофлотації.

Згідно з операційно-технологічною схемою для переробки насіння рицини визначено найменування обладнання та його кількість, що необхідно придбати та яке забезпечить відповідний рівень виробництва. Узагальнені всі технологічні режими при переробці насіння рицини на рицинову олію на відповідному обладнанні. В результаті дотримання відповідних технологічних режимів переробки, одержать рицинову олію, якісні показники якої відповідатимуть вимогам ДСТУ 6757.

Запропонована безекстракційна технологія дозволила розробити узагальнену технічну характеристика міні-заводу по переробці насіння рицини на технічну рицинову олію і кормовий жмих, яка є вихідними вимогами при розробленні проекту такого заводу та визначенні фінансової і комерційної привабливості малотоннажного підприємства.

Ключові слова: насіння рицини, касторова олія, малотоннажне виробництво, дворазове пресування, форпрес, експелерний прес.

Постановка проблеми

Олійні культури мають важливе народногосподарське значення, оскільки є джерелом отримання цінних продовольчих і технічних продуктів. Серед олійних культур важливе місце займає рицина, основний продукт переробки якої є рицинова олія, яка використовується в хімічній, електротехнічній, медичній, авіаційній та інших галузях промисловості [1-3].

Слід зазначити, що рицинова олія може використовуватися для виготовлення біопалива [4-7].

Насіння рицини містять 52-57% рицинової олії [8-9]. Відповідно, насіння рицини, є бочонком, який наповнений олією, яка за хімічним складом відрізняється від інших рослинних олій за рахунок високого вмісту рицинолевої кислоти 85-90% [10], завдяки чому володіє унікальними властивостями: в'язка, слабо розчиняється в бензині та інших органічних розчинниках, не застигає при мінусових температурах, що робить її неперевершеним за якістю мастильним матеріалом, особливо для двигунів, які працюють в складних умовах.

При глибокій переробці одержують технічну рицинову олію й високобілковий корм для великої рогатої худоби, свиней і птахів. Таким чином, олія рицини має унікальні фізико-хімічні властивості, і є незамінною в багатьох галузях промисловості.

Не дивлячись на безперечні переваги, в Україні відсутні підприємства з переробки рицини. Таким чином, важливим і актуальним завданням на сьогоднішній день є обґрунтування доцільності створення таких підприємств.

Аналіз останніх досліджень

Усі існуючі технології переробки насіння рицини можна розділити на два методи витягу олії із насіння: механічне віджимання олії, назване методом пресування, і розчинення олії в легколетких органічних розчинниках, або метод екстракції. Ці два методи використовуються в технології виробництва рослинних олій або самостійно, або в сполученні одного з іншим.

Сучасні високопродуктивні заводи по переробці насіння рицини працюють за схемою попереднє пресування – екстракція й волого-теплова детоксикація рицинової макухи.

Вивчено досвід переробки насіння рицини на касторову олію за схемою попереднє пресування – екстракція на заводах республіки Молдови (Бельцький олієжировий комбінат, Атакський олієекстракційний комбінат), Росії (Білоріченський олієекстракційний завод, Краснодарський оліє завод № 2), а також конструкцію устаткування, яке використовується у світі.

Так з 1968 року в Молдові була освоєна технологія переробки рицини за схемою форпресування-екстракція. Якщо при переробці пресовим способом загальні втрати олії склали 2,8%, то вже в перший рік після переходу на екстракційний спосіб вони знизилися до 1,24 %. Однак продуктивність модернізованих екстракторів НД-1250 складає 500 т на добу за переробкою форпресового пелюстка в перерахуванні на насіння соняшника і для малотонажного виробництва не може бути використано Оскільки касторова олія не розчиняється в бензині при температурі 20-25^{0}С, то в перших екстракційних лініях застосовували як розчинник технічний дихлоретан. Надалі, за типовою схемою на лінії НД-1250 як розчинник застосовували бензин, попередньо підігрітий до температури 60-65^{0}С. При екстракції олії з пелюстка олійної сировини екстрагуються речовини, які небажані для використання в продукті, що одержується. Тому, з'являється необхідність у додатковому очищенні екстракційної олії. Це істотно ускладнює технологію виробництва.

Вивчення технології і конструкції технологічного устаткування, яке використовується фірмами «Alimenta» (Італія) і концерном «Krupp» (Німеччина) для потужних виробництв (32 тис. тони на рік) показало, що на сьогоднішній день використати їх практично не можливо, тому що ціна закупки устаткування для такого заводу складає біля 10 млн. доларів США.

Вивчення світового досвіду показало, що для України найбільш доцільним є шлях поступового створення сітки малотоннажних виробництв (міні-заводів) з добовою продуктивністю приблизно 12-15 т по вихідній сировині.

Наші заводи (у містах Умань, Сміла, Верхньодніпровськ та ін.) випускають устаткування для переробки насіння соняшника з добовою продуктивністю 8-10 т. Однак, технологічні властивості насіння соняшника й відповідно технологія його переробки принципово відрізняється від властивостей насіння рицини й технології їхньої переробки. Тому, при створенні міні-заводів по переробці насіння рицини з устаткування, що випускається вітчизняними заводами, практично нема, що перейняти.

Відомі існуючі технології переробки рицини методами пресування відбуваються за схемами: форчан-форпрес; однократне пресування; дворазове пресування: форпрес-експелерний прес [11-13].

Проте, форчанні олії менш стійкі до окислювання порівнянно з форпресовоюі експелерною, що пояснюється малим умістом у них натуральних антиоксидантів. Також одним з найбільш вагомих недоліків методу форчан-форпрес є періодичність основного апарата – форчана. У розвитку цього методу були створені конструкції апаратів безперервної дії, які практично являють собою шнекові системи слабкого віджимання, що вимагає застосування високих температур.

Однократне пресування при переробці насіння рицини не дозволяє одержати великого виходу олії й надійної роботи устаткування. Це підтверджується досвідом корпорації «Хортиця», яка спробувала використати технологію і устаткування для мінізаводу по переробці рицини німецької фірми «Агро-фебер» [10]. Технологія і основне устаткування було не пристосоване для переробки насіння рицини.

Тому питання раціональної технології переробки рицини в умовах малатонажних підприємств є актуальним та потребує подальшого вивчення.

Мета досліджень

Мета даної роботи полягає у техніко-технологічному обгрунтуванню створення міні-заводу по переробці насіння рицини на технічну рицинову олію і кормовий жмих з продуктивністю 15 т/добу по вихідній сировині.

Результати досліджень

Вивчення вітчизняного й закордонного досвіду переробки насіння рицини, відпрацьовування технології хімічної детоксикації макухи рицини і її випробування на великій рогатій худобі (ВРХ), свинях і курчатах дозволили розробити раціональну технологію переробки рицини на міні заводах.

Операційно-технологічна схема переробки насіння рицини дворазовим пресуванням представлена на рис. 1.

Запропонована технологія має наступні принципові відмінності від існуючих технологій переробки насіння рицини:

- приймання, очищення й калібрування насіння, кондиціювання насіння по вологості перед обрушенням
- поліпшення відділення насінної й плодової оболонки (лузги) на шельмашині;
- інактивація ферментної системи перед волого-тепловою обробкою;
- двоступінчастий віджим на форпрессі й експеллерному пресі з вологотепловою обробкою в

багаточанних парових жаровнях без подальшої екстракції;

- зниження відстою по масі при зніманні олії пресуванням шляхом добору відповідних режимів жаріння й пресування;

- первинне очищення олії з гарячою фільтрацією та елктрофлотацією;

- послідовно волого-теплова детоксикація рицину, рицинина в тостері, хімічна детоксикація алергену СВ-1А в бункерах-інактиваторах;

- спалювання лузги в парогенераторі-утилізаторі, що працює на лушпинні, що забезпечує парою високого тиску роботу шнека-інактиватора й багаточанної жаровні;

- зниження шкідливих викидань в атмосферу за рахунок використання напівзамкненого повітряного циклу в шельмашині, двох-трьох східчастого очищення повітря;

- забезпечення технохімічного контролю виробничих процесів.

Згідно з операційно-технологічною схемою для переробки насіння рицини необхідно придбати обладнання, яке забезпечить відповідний рівень виробництва (табл. 1)

Відкаліброване й підсушене насіння рицини з вологістю 6-8 % доставляється саморозвантажуючим транспортом до приймального бункеру, з якого в подальшому ковшовим елеватором транспортується до бункера шельмашини.

Обрушення насіння рицини виконується за допомогою парних валків з рівними швидкостями обігу, зазор між якими встановлюється залежно від розмірів насіння. Відділення лузги проводиться на ситах тієї ж машини завдяки різниці в розмірах здрібненого ядра й лушпиння, а також в аспіраційному каналі за рахунок різних аеродинамічних властивостей ядра й лушпиння. Винос ядра становить 0,3-0,5 %, олійність лушпиння - 1,5-2,0 %. Регулювання зняття лушпиння й виносу ядра проводиться за допомогою спеціальних шиберів. Лушпиння транспортується повітряним потоком робочого вентилятора шельмашини через розподільник і циклони в накопичувальний бункер.

Грубе здрібнювання ядра ведеться на двопарних валках із зазором між ними на 1,0-2,0 мм меншим, чим товщина середньої за розмірами фракції партії насіння, яке переробляється.

Насіння рицини має найбільш активну (порівняно з іншими олійними культурами) ліпазу, тому після здрібнювання ядра необхідно проводити інактивацію ферментного комплексу, для чого використовується шнек-інактиватор. При вологості м'ятки 8-10 % і короткочасним нагріванні в інактиваторі до 80-90°С кислотне число пресових масел знижується в середньому на 0,6-0,8 мг КОН порівняно з оліями, які одержуються із застосуванням звичайного способу смаження.

Волого-теплову обробку необхідно проводити в багаточанній паровій жаровні: у першому чані йде зволоження м'ятки гострою парою й водою до 8-10% і нагріванні; далі - пропарювання в шарі товщиною 260 мм і висушування до вологості 5,5-6,5 % і нагріванні до 110-115^{0}С.

Після волого-теплової обробки в жаровні, маса з вологістю 3,7-4,2 % і температурою 120-125°С іде на остаточний віджим в експелерний прес, зазори між планками в якому дорівняють: 0,7-0,8 мм; 0,5-0,6 мм; 0,25-0,35 мм; 0,15-0,25 мм (1-1V ступені відповідно).

В результаті дотримання відповідних технологічних режимів переробки одержують рицинову олію, якісні показники якої відповідають вимогам ДСТУ 6757 або Фармастатті ФС-426-413-99 (табл. 2).

Експелерній жмих грубо подрібнюється різаком, який розміщається на валу преса, норією транспортується в охолодну колонку, а далі маса з температурою 55-60°С подрібнюється на п'ятивальцьовому верстаті.

Знешкодження рицинового жмиха має дві стадії:

1) волого-теплова обробка в багаточанному тостері;

2) хімічна обробка лужним розчином.

Волого-теплова обробка проводиться протягом 1,5-2,0 годин. Спочатку жмих зволожується до 24-26 %, а далі висушується при 135°С до вологості 7,5-8,5 %. Обробка вважається закінченою при негативній пробі на рицини.

Таблиця 1. Перелік обладнання міні-заводу.
Table 1. List of mini-plant equipment.

№ пп	Найменування обладнання	Кіль-кість, од.
1	Бункер прийомний	1
2	Норія	3
3	Установка для очищення насіння	1
4	Шельмашина	1
5	Регульований циклон	2
6	Вентилятор	2
7	Рукавний фільтр	2
8	Однопарний вальцьовий верстат	3
9	Шнек-інактиватор	1
10	Семічанна парова жаровня	1
11	П'ятичанна парова жаровня	1
12	Форпрес	1
13	Експелерний прес	1
14	П'ятивальцовий верстат	2
15	Молотковий подрібнювач	2
16	Тостер	1
18	Змішувач	1
19	Бункер-дезактиватор	8
20	Транспортер шнековий	2
21	Роздавальний транспортер	1
22	Складальний транспортер	1
23	Фільтр-прес, електрофлотатор	2
24	Бак для олії	7
25	Насос	2
26	Установка для пило-газоочищення	1

Для інактивації алергену жмих подають у змішувач, у якому іде обробка його лужним розчином з витримкою протягом 6-7 діб при температурі 30-60°С у бункері-детоксикаторі. Принциповою відмінністю такого способу хімічної обробки є знешкодження білково-полісахаридної фракції алергену гідролізом, а не денатурацією білка.

Показники якості одержаного жмиха рицинового кормового наведені в табл. 3

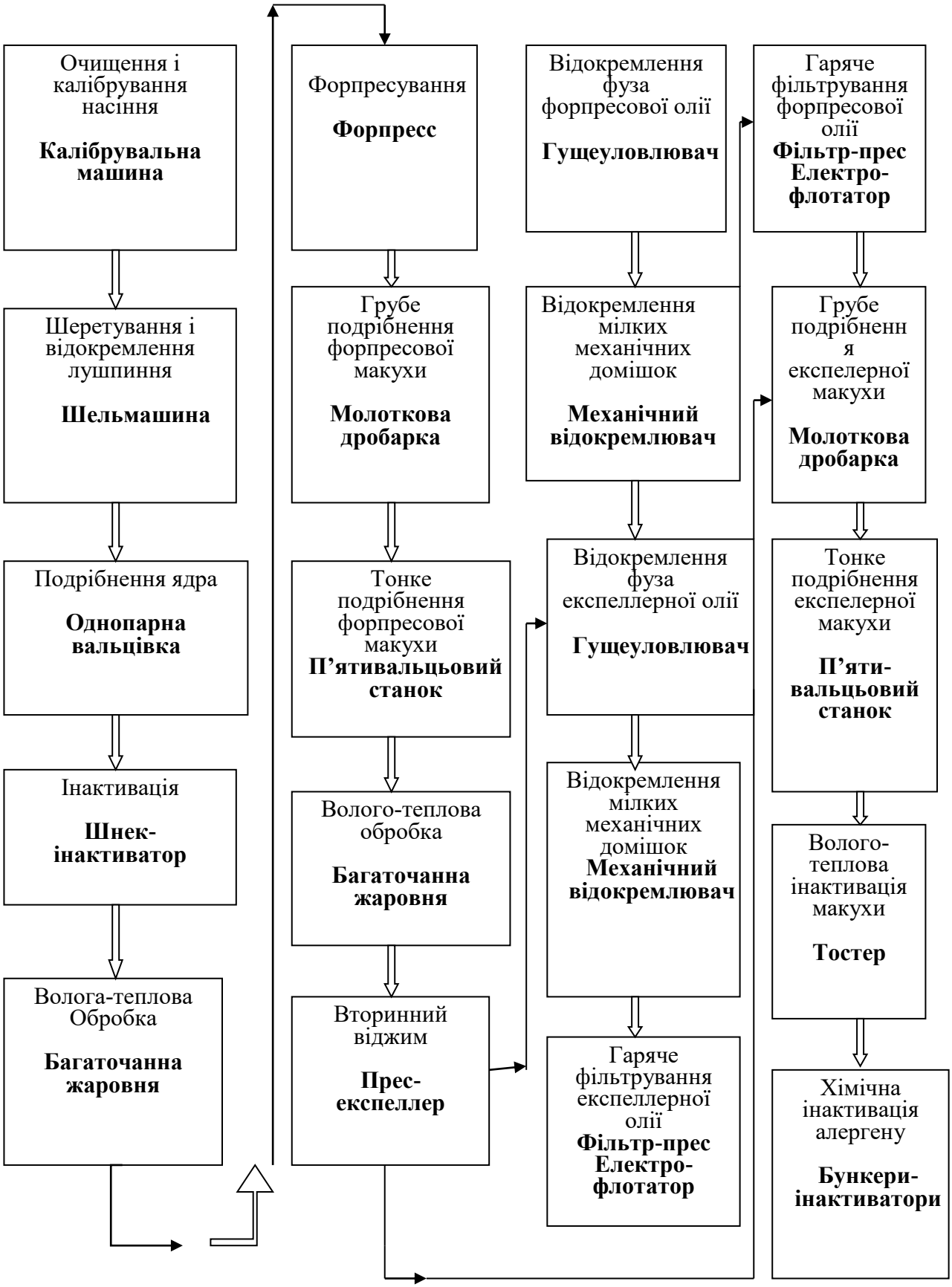


Рис. 1. Операційно-технологічна схема переробки насіння рицини дворазовим пресуванням.
Fig. 1. Operational-technological scheme of castor seeds processing by double pressing.

Таблиця 2. Характеристика якості рицинової технічної нерафінованої олії (ДСТУ 6757-73).

Table 2. Quality characteristic of castor technical crude oil (DSTU 6757-73).

№ п.п.	Найменування показників	Характеристика олії
Органолептичні показники		
1	Прозорість	Допускається помутніння над осадом
2	Розчинність у рівному обсязі 96%-вого етилового спирту	повна
Фізико-хімічні показники		
3	Йодне число мг йоду, не більш	70
4	Щільність при 20°С, г/см	0,970
5	Кислотне число мг КОН/г, не більш	5,0
6	Волога й летучі речовини, %, не більше	0,30
7	Нежирові домішки (відстій по масі, %, не більше	0,2
8	Умовна в'язкість при 20°С,сек	Не визначається
9	При 50°С, умовні градуси, не менше	Не визначається
10	Температура застигання °С, не вище	Не визначається
11	Температура спалаху пресової олії в закритому тиглі, °С, не менш	240
12	Мило	Не визначається

Таблиця 3. Характеристика якості жмиха рицинового кормового.

Table 3. Quality characteristic of castor forage meal.

№№/ п.п.	Найменування показників	І сорт	ІІ сорт
1	2	3	4
1.	Колір	Сіре Корич-невий	Бурий
2	Запах	Властивий рициновому жмиху, без стороннього запаху (затхлості, цвілі, горілості й ін.)	

Продовження табл. 3

3	Волога й летучі речовини, %	7,5 – 9,0	7,5 – 9,0
4.	Сирий жир у перерахуванні на абсолютно суху речовину, %, не більше	6,0 – 7,0	6,0 – 7,0
5.	Сирий протеїн у перерахуванні на абсолютно суху речовину, %, не менше	45	40
6.	Сира клітковина в перерахуванні на абсолютно суху речовину, %, не більше	30,0	37,0
7.	Зола, нерозчинна в 10%-вій соляній кислоті у перерахуванні на абсолютно суху речовину, %, не більш	1,5	2,0
8.	Сторонні домішки	Не допускаються	
	Металодомішки, %, частки розміром по 2 мм у найбільшому лінійному виміру, %, не більше	0,01	0,01
	Частки розміром 2 мм, %, не більше	0,001	0,001
Частки розміром більше 2 мм		Не допускаються	
Частки з гострими ріжучими краями		Не допускаються	
	Зараженість комірними	Не допускається	
9.	Реакція на рицин	Негативна	
10.	Зміст хлорорганічних отрутохімікатів на 1 кг жмиха, мг гексахлорану, **%,** не більше	Сліди	1,0

Узагальнена технічна характеристика міні-заводу по переробці насіння рицини на технічну рицинову олію і кормовий аб представлена в табл. 4.

Таблиця 4. Технічна характеристика міні-заводу.

Table 4. Technical characteristics of the mini-factory.

Найменування показників	Чисельні значення
1	2
1. Складові міні-заводу	
Цех по виробництву рицинової олії й кормового жмиху	1
Котельня	1
Склад ГСМ	1
Склад насіння рицини	2
Склад рицинової олії	1

Продовження таблиці 4

Склад кормового жмиха	1
Трансформаторна підстанція	1
Пожежорезервуари	2
2. Добова продуктивність, т/доба	
По вихідній сировині (насіння рицини)	15
Олія технічна рицинова, у тому числі	7,8
Олія форпресова	7,1
Олія експелерна	0,7
Жмих кормовий активований	3,7
Лушпиння	2,5
3. Річна продуктивність, т/рік	
По вихідній сировині (насіння рицини)	4500
Олія технічна рицинова, у тому числі	2348
Олія форпресова	2142
Олія експелерна	206
Жмих кормовий активований	1123
Лушпиння	742
4. Загальна характеристика міні-заводу	
Число робочих днів у році	300
Число змін у добу	3
Число працюючих на міні-заводі	40
5. Технічні показники основного цеху	
Установлена потужність устаткування, кВт	213,8
Витрата технологічної пари, кг/год	356
Робочий тиск технологічної пари, МПа	0,5
Витрата технологічної води	
добова, $м^3$/сут	3,6
годинна $м^3$/год	0,15
Стічні води	
добові, $м^3$/сут	
годинні м/год	
Витрата дизельного палива на виробництво пари, кг/сут	991,2
Категорія виробництва по вубохо- і пожежної небезпеці	В
6. Технічна характеристика котельні	
Транспортабельна котельна установка ТЧУ-0,7	
Продуктивність по парі, кг/год	1000
Робочий тиск пари, МПа	0,8
Температура води для опалення й вентиляції, °С	70-95
Температура води для гарячого водопостачання, °С	60
Установлена потужність устаткування, кВт	40
Витрата палива:	
рідкого, кг/год	74
або газу, $м^3$/год	90,1
Габарити будинку котельні, м:	
довжина	8
ширина	3,25
висота	3,6

7. Технічна характеристика складу насіння рицини	
Місткість, т	2000
Установлена потужність устаткування, кВт	11,5
Тип зберігання насіння - напольний з каналами й механізмами активного вентилювання	
Категорія виробництва по вибухо- і пожежної небезпеки	В
8. Технічна характеристика складу олії	
Кількість резервуарів, шт	5
Місткість резервуара, $м^3$	16
Місткість складу, $м^3$	80
Установлена потужність устаткування, кВт	2,2
Категорія виробництва по вибухо- і пожежної небезпеки	В
9. Технічна характеристика складу жмиха	
Місткість, $м^3$	350
Установлена потужність, кВт	8,8
Спосіб зберігання	напольний
Категорія виробництва по вибухово-і пожежній небезпеці	Б
10. Технічна характеристика підстанції	
Установлена потужність, кВт	400
Типовий проект 407-3-793.88	
Опір контурного заземлення, не більш, Ом	4
11. Технічна характеристика пожрезервуарів	
Ємність пожрезервуара, $м^3$	150
Кількість пожрезервуарів, шт.	2
Конструкція - збірно-монолітна залізобетонна незаглиблена	

Висновки

1. Запропоновано безекстракційну технологію переробки рицини методом двохкратного пресування для умов малотоннажного виробництва, яка відрізняється від відомих технологій тим, що вона передбачає використання удосконаленого обладнання та ряд додаткових технологічних операцій таких як: калібровка насіння, обрушення лушпиння, пневмосепарація лушпиння та очищення віджатої олії шляхом електрофлотації.

2. Це дозволило розробити узагальнену технічну характеристику міні-заводу по переробці насіння рицини на технічну рицинову олію і кормовий жмих, яка є вихідними вимогами при розробленні проекту такого заводу та визначенні фінансової і комерційної привабливості малотоннажного підприємства.

Список літератури

1. *Barnes D. J., Baldwin B. S., Braasch D. A.* Degradation of ricin in castor seed meal by temperature and chemical treatment. Industrial Crops and Products. 2009. Vol. 29, № 2-3. P. 509-515. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.09.006.

2. *Mutlu H., Meier M. A.* Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. European Journal of Lipid Science and Technology. 2010. Vol. 112, № 1. P. 10-30. DOI:10.1002/ejlt.2009.00.138.

3. *Malajowicz J., Kusmirek S.* Characteristics and possibilities of industrial use of castor oil. Przemysl Chemiczny. 2016. Vol. 95, № 9. P. 1756-1760. DOI: 10.15199/62.2016.9.20.

4. *Deb A., Ferdous J., Ferdous K., Uddin M. R., Khan M. R., Rahman M. W.* Prospect of castor oil biodiesel in Bangladesh: Process development and optimization study. International Journal of Green Energy. 2017. Vol. 14, №12. P. 1063-1072. DOI: 10.1080/15435075.2017.1357558.

5. *Zhu Q. L., Gu H., Ke Z.* Congeneration biodiesel, ricinine and nontoxic meal from castor seed. Renewable Energy. 2018. Vol. 120. P. 51-59. DOI: 10.1016/j.renene.2017.12.075

6. *Hadiyanto H., Yuliandaru I., Hapsari R.* Production of Biodiesel from Mixed Waste Cooking and Castor Oil. In MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 156. № 03056 DOI: 10.1051/matecconf/201815603056.

7. *Conejero M. A., César A. D. S., Batista A. P*. The organizational arrangement of castor bean family farmers promoted by the Brazilian Biodiesel Program: A competitiveness analysis. Energy Policy. 2017. Vol. 110. P. 461-470. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.08.036.

8. *Мошкин В. А.* Клещевина. Москва. Колос. 1980. 352 с.

9. *Жаркова Г.* Огляд нових сортів та гібридів олійних культур. Пропозиція. 2001. Вип. 12. С. 48-50.

10. *Дідур В. А. та ін.* Розробка технології, експериментального устаткування технологічної лінії по глибокій переробці насіння рицини в касторову олію для виробництва мастил для сільськогосподарської техніки: звіт про НДР; Мелітополь. ТДАТА. 2005. 99 с.

11. *Кошкарова В. А.* Переработка семян клещевины экстракционным способом без отделения лузги. Масло-жировая промышленность. 1974. Вип. 6. С. 8.

12. *Копейковский В. М.* и др. Технология производства растительных масел. Москва. Легкая и пищевая промышленность, 1982. 416 с.

13. *Кичигин В. П.* Технология и технохимический контроль производства растительных масел. Москва. Пищевая промышленность. 1976. 359 с.

References

1. *Barnes D. J., Baldwin B. S. & Braasch D. A.* (2009). Degradation of ricin in castor seed meal by temperature and chemical treatment. Industrial Crops and Products, 29(2-3). P. 509-515.

2. *Mutlu, H., & Meier, M. A. (2010).* Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. European Journal of Lipid Science and Technology, 112(1), P. 10-30.

3. *Malajowicz, J., & Kusmirek, S.* (2016). Characteristics and possibilities of industrial use of castor oil. Przemysl Chemiczny, 95(9), P. 1756-1760.

4. Deb, A., Ferdous, J., Ferdous, K., Uddin, M. R., Khan, M. R., & Rahman, M. W. (2017). Prospect of castor oil biodiesel in Bangladesh: Process development and optimization study. International Journal of Green Energy, 14(12), P. 1063-1072.

5. *Zhu, Q. L., Gu, H., & Ke, Z.* (2018). Congeneration biodiesel, ricinine and nontoxic meal from castor seed. Renewable Energy, 120, P. 51-59.

6. *Hadiyanto, H., Yuliandaru, I., & Hapsari, R.* (2018). Production of Biodiesel from Mixed Waste Cooking and Castor Oil. In MATEC Web of Conferences (Vol. 156, p. 03056). EDP Sciences.

7. *Conejero, M. A., César, A. D. S., & Batista, A. P.* (2017). The organizational arrangement of castor bean family farmers promoted by the Brazilian Biodiesel Program: A competitiveness analysis. Energy Policy, 110, P 461-470

8. *Moshkin V. A.* (1980). Castor oil. Moscow. Ear

9. *Garkova G.* (2001) Review of new varieties and hybrids of oilseeds. suggestion. No. 12. P. 48-50.

10. *Didur V. A. at al.* (2005). Development of technology, experimental equipment of the technological line for deep processing of castor seeds into castor oil for the production of oils for agricultural machinery: GDR report. Melitopol. TSATU.

11. *Koshkarova V. A.* (1974). Processing of castor oil seeds by extraction method without husk separation. Oil and fat industry. No. 6. P. 8

12. *Kopeikovskii V. M. at al.* (1982). Technology for the production of vegetable oils. Moscow. Light and food industry.

13. *Kichigin V.P.* (1976). Technology and chemical control of the production of vegetable oils. Moscow. Food industry.

ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ КЛЕЩЕВИНЫ НА МАЛОТОННАЖНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В. В. Дидур, А. Б. Чебанов, С. М. Грушецкий, Є. А. Петриченко

Аннотация. Работа посвящена исследованию технологий и экспериментального оборудования технологической линии по глубокой переработке семян клещевины в касторовое масло для производства масел для сельскохозяйственной техники и кормового жмыха.

Касторовое масло является стратегическим сырьем, так как используется во многих отраслях народного хозяйства, в частности в сельском хозяйстве. Все существующие способы переработки семян клещевины можно разделить на два метода извлечения масла из семян: механический отжим масла, названный методом прессования, и растворение масла в легколетучих органических растворителях, или метод экстракции. Эти два метода

используются в технологии производства растительных масел либо самостоятельно, либо в сочетании одного с другим.

Для условий малотоннажного производства в статье предложена операционно-технологическая схема переработки семян клещевины двукратным прессованием с принципиальными отличиями от существующих технологий переработки семян клещевины. Предложенная безэкстракционная технология переработки клещевины методом двукратного прессования для условий малотоннажного производства отличается от известных технологий тем, что она предусматривает использование ряда дополнительных технологических операций таких как: калибровка семян, обрушивание шелухи, пневмосепарация шелухи и очистка отжатого масла путем электрофлотации.

Согласно операционно-технологической схеме для переработки семян клещевины определено наименование оборудования и его количество, что необходимо приобрести и которое обеспечит соответствующий уровень производства. Обобщены все технологические режимы при переработке семян клещевины на касторовое масло на соответствующем оборудовании. В результате соблюдения соответствующих технологических режимов переработки, получат касторовое масло, качественные показатели которого будут отвечать требованиям ДСТУ 6757.

Предложенная безэкстракционная технология позволила разработать обобщенную техническую характеристику мини-завода по переработке семян клещевины на техническое касторовое масло и кормовой жмых, которая является исходными требованиями при разработке проекта такого завода и определении финансовой и коммерческой привлекательности малотоннажного предприятия.

Ключевые слова: семена клещевины, касторовое масло, малотоннажное производство, двукратное прессование, форпресс, экспелерный пресс.

TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL VIABILITY OF PROCESSING CASTOR BEANS FOR SMALL-SCALE ENTERPRISE

V. V. Didur, A. B. Chebanov, S. M. Hrushetskyi, Y. A. Petrychenko

Abstract. The work is devoted to the study of technology and experimental equipment of the technological line for deep processing of seeds of castor beans to castor oil for the production of oils for agricultural machinery and fodder oil cake.

Castor oil is a strategic raw material as used in many sectors of the economy, particularly in agriculture. All existing methods of processing the seeds of the castor oil plant can be divided into two methods of extracting the oil from seeds: mechanical extraction of oil, called by extrusion and dissolution of the oil in volatile organic solvents, or extraction method. These two methods are used in the technology of production of vegetable oils, either alone or in combination with one another.

For conditions of small-scale production in the article the operationally-technological scheme of processing of castor seed two-time pressing with fundamental differences from the existing technologies of processing of castor seed. Resexcellence proposed technology of processing of castor beans by the method of double pressing for conditions of small-scale production is different from the known technologies that it involves the use of a number of additional technological operations such as: calibration of seeds, husk, the husk pneumoseparation and purification of pressed oil by electro-flotation.

According to the operationally-technological scheme for processing castor seed is defined the name of equipment and quantity that you need to acquire and which will provide the appropriate level of production. Summarizes all processing modes in the processing of castor seed for castor oil with the proper equipment. By adhering to relevant technological modes of processing, will receive castor oil, quality indexes which will meet the requirements of DSTU 6757.

Proposed basictrain technology made it possible to develop a generic technical description of the mini-plant on processing of seeds of castor oil plant technical castor oil and feed meal, which is the initial requirements during project development, such a plant and determining the financial and commercial viability of small-scale enterprises.

Key words: castor seed, castor oil, small scale production, two time pressing, forpress, axillary press.

В. В. Дідур ORCID 0000-0001-7584-5073.
А. Б. Чебанов ORCID 0000-0002-8457-0574.
С. М. Грушецький ORCID: 0000-0002-6434-1213.
Є. А. Петриченко ORCID: 0000-0003-1037-077X.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 95-105
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.095-105

УДК 631.316

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ РУХУ БОРОНУВАЛЬНОЇ СЕКЦІЇ

В. Т. Надикто, М. А. Тиховод

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 11, рис. 8, табл. 0.

Анотація. У статті розглянуто динаміку функціонування у поздовжньо-вертикальній площині однієї причіпної боронувальної ланки (секції), призначеної для обробітку парів. За оцінювальний показник прийнято відхилення цієї динамічної системи від горизонтального положення. Теоретичними дослідженнями установлено, що чим менша значина відстані між рядами зубів боронувальної ланки, тим меншим як за амплітудою, так і часом (тобто фазою) є відхилення ґрунтообробного знаряддя від рівноважного стану. При збільшенні координати виносу точки кріплення повідків борони з 0 до 0,2 м кут її відхилення від горизонтального положення і час виходу до нового рівноважного стану зменшуються практично вдвічі, що є бажаним результатом. Аналітичним шляхом установлено, що за раціональних конструктивних параметрів боронувальної секції значина кута її повороту у поздовжньо-вертикальній площині не перевищуватиме – 3°, а її вихід до нового рівноважного стану становить при цьому не більше 16 с. На агрофонах легкого гранулометричного складу, який характеризується малою значиною коефіцієнту опору вертикального переміщення робочих органів боронувальної ланки у ґрунті, час виходу боронувальної ланки до рівноважного стану суттєво зменшується з 16 до 0,7 с.

Ключові слова: пар, боронування, боронувальна секція, кут повороту, стійкість руху.

Постановка проблеми

Прогресивним напрямком обробітку парів в умовах недостатнього зволоження слід признати систематичне мілке (5…6 см) розпушування ґрунту без його виносу на денну поверхню поля. Для практичної реалізації цього напрямку може бути використане ґрунтообробне знаряддя на основі боронувальних секцій. Кожна із них має 20 робочих органів, розташованих за загальновідомою схемою «зигзаг» у п’ять рядів і приєднується до рами знаряддя з допомогою двох повідків, нахилених під потрібним кутом до горизонту [1].

Можливі два варіанти налаштування боронувальної секції. Один передбачає обладнання першого ряду зубів борони як нахиленими горизонтальними, так і вертикально розташованими плоскорізальними елементами (сегментами). Згідно з другим варіантом налаштування боронувальної секції плоскі зуби її першого ряду для забезпечення кращого розрізання (подрібнення) рослинних решток у грунті не мають горизонтальних сегментів.

Однією із головних умов, виконання якої забезпечить стабільність відносно малої (5…6 см) глибини обробітку ґрунту такою боронувальною секцією, є стійкість її руху у поздовжньо-вертикальній площині. Проблема полягає у тому, що розв’язання даної задачі можливе лише на основі аналізу характеру функціонування боронувальної секції як динамічної системи у вказаній площині.

Аналіз останніх досліджень

Найбільш придатними робочими органами для обробітку парів в умовах недостатнього зволоження є такі плоскорізальні, у яких кут розпушення практично відсутній. Завдяки цьому вони практично не виносять вологий ґрунт на денну поверхню поля. Водночас, конструктивна ширина захвату цих робочих органів настільки значна, що практично унеможливлює їх стабільний хід на малій (4…6 см) глибині обробітку ґрунту. Саме із-за цієї причини вони і не знайшли більш-менш широкого застосування в технологіях догляду за парами.

У науковому сенсі динаміка вертикального руху боронувальних секцій із плоскорізальними робочими органами у повному обсязі не розглядалась взагалі. Більш-менш широка практика застосування вузькозахватних і майже плоскорізальних робочих органів для поверхневого обробітку (розпушення) ґрунту була упроваджена Всесоюзним науково-дослідним інститутом цукрових буряків. Проведені його науковцями лабораторно-польові дослідження засвідчили, що найбільш сприятливі умови для дружного проростання насіння і розвитку сходів цієї культури можливі за мілкогрудкуватої структури верхнього (1…10 мм) шару ґрунту [2].

Такий стан останнього, за їх переконанням, здатна забезпечувати борона-культиватор ВНИС-Р, розроблена кандидатом сільськогосподарських наук А. Г. Радченком [3]. Її робочі органи – лапки різної довжини – здійснюють пошарово-ярусний обробіток грунту. Глибина його розпушування змінюється при цьому від 2 до 12 см. Конструктивна ширина захвату кожної із лап (крім першого ряду борони-культиватора) становить 46 мм. В окремих конструкціях значина цього параметру сягає 50 і навіть 70 мм [2]. При цьому робочі органи першого ряду борони-культиватора ВНИС-Р виконані у вигляді звичайних зубів без лапок.

Поряд з очевидними перевагами, дослідниками було встановлено, що рух ґрунтообробних знарядь типу ВНИС-Р характеризується наявністю вібрації борін у поздовжньо-вертикальній площині. В кінцевому випадку це певним чином негативно відображалося на якості обробітку ґрунту. Особливо відчутно це проявлялося на підвищених швидкостях роботи боронувального машинно-тракторного агрегату [4].

Є певні напрацювання, які стосуються досліджень агрегатування борін із звичайними зубами (типу БЗСС-1,0 і БЗТС-1,0). Так, у роботі [5] підкреслюється, що у серійних борін повідки під час підвищеного руху МТА обмежують ступінь пристосовуваності ланок у поздовжньо-вертикальній площині. Для вирішення цієї проблеми науковці ВІМ (Росія) у кожної із серійних борін типу БЗСС-1,0 і БЗТС-1,0 зменшили кількість зубів із 20 до 15. Такий конструктивний захід дозволив збільшити питоме вертикальне навантаження на кожен зуб знаряддя.

Більше того, замість звичайних повідків кожну із боронувальних ланок приєднували до рами з допомогою лише одного шарнірного з'єднання. Причому, для запобігання стикання у горизонтальній площині борони з'єднували між собою жорсткими ланками.

До недоліків такого конструктивного рішення слід віднести наступне. За однієї і тієї ж конструктивної ширини захвату кожен ряд нової борони має три зуби, у той час, як серійної – чотири. У підсумку відстань між зубами по фронту у нового конструктивного рішення є більшою. Якщо тепер таку борону обладнати плоскорізальними елементами, то ширину захвату кожного із них слід брати більшою. А це, як уже підкреслювалося вище, у аспекті розглядуваної нами проблеми є небажаним.

Ще одним напрямком модернізації зубових борін типу БЗТС-1,0 є обладнання їх активними робочими органами [6]. Кожен із них складається із планки, яка з допомогою вертикального шарніру закріплюється на боронувальній ланці. На кінцях планки на відстані L = 10…17 см один від одного розташовані зуби борони. Під час руху ґрунтообробного знаряддя ці зуби створюють різний опір оброблюваному середовищу (тобто ґрунту). У наслідок цього виникає обертовий момент, із-за якого планка із зубами здійснює вимушені кутові коливання різної частоти. Зуби при цьому здійснюють інтенсивний вплив на ґрунт як у поздовжньому, так і поперечному напрямках. У підсумку ґрунт більш інтенсивно розпушується. Водночас, при цьому він, на нашу думку, і більш інтенсивно висушується. З огляду на це дане конструктивне рішення перспективи застосування на парових полях не має.

Важливим конструктивним параметром боронувальної секції є кут нахилу її повідків до горизонтальної поверхні (α, рис. 1).

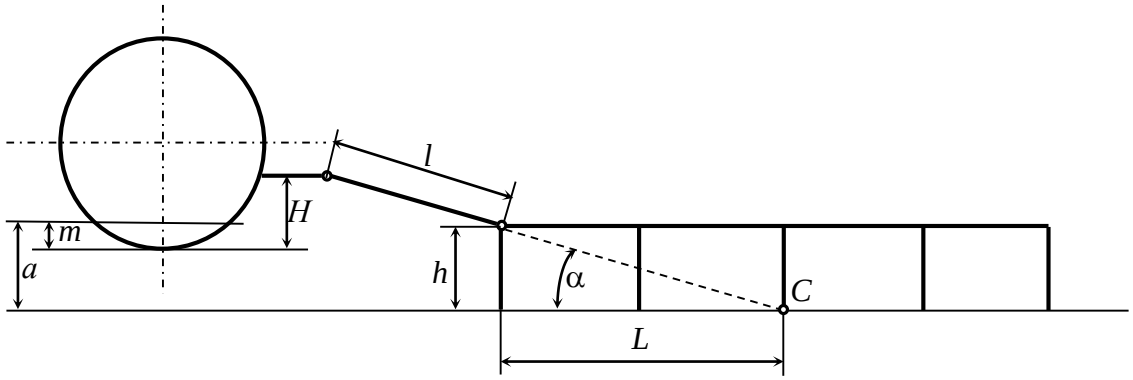


Рис. 1. Конструктивна схема приєднання боронувальної ланки до зчіпки [5].
Fig. 1. Structural scheme of attachment the harrow section to the hitch [5].

Його величина задає напрям сили тяги, формуючи при цьому характер руху ланки у поздовжньо-вертикальній площині. Крім цього параметр α впливає на вибір довжини повідка (l). У роботі [5] пропонують наступний аналітичний зв'язок між величинами α і l:

$$l = [H + a - (m + h)]/sin\alpha, \qquad (1)$$

де H – висота точки причеплення повідка на рамі зчіпки; a – глибина оброблення грунту (боронування); m – величина прогрузання коліс зчіпки у грунт (3…4 см); h – висота розташування точки причеплення повідка до борони.

Власне величину кута нахилу повідка до горизонту (α) науковці рекомендують визначати із виразу [5]:

$$tg\alpha = h/L,$$

де L – відстань від сліду центру ваги борони (т. C, рис. 1) до проекції точки її причеплення до зчіпки.

Водночас, результатів досліджень динаміки поздовжньо-вертикального руху боронувального агрегату автор роботи [5] не приводить. Він лише

апріорі стверджує, що зі збільшенням глибини боронування стійкість руху борони у вказаній площині за постійної довжини повідка *l* буде забезпечена, якщо його приєднати до брусу зчіпки нижче на величину, адекватну зменшенню глибини обробітку ґрунту. При цьому слід центру ваги боронувальної ланки, на його думку, буде зосереджений у точці *C* (див. рис. 1).

В дійсності ж це може бути зовсім не так, що зменшує науково-практичну значущість залежності (1) і потребує додаткового проведення низки як теоретичних, так і експериментальних досліджень. Практично такий же методичний підхід щодо визначення кута нахилу повідків зубової борони застосовано у роботі [7].

Застосовуючи плоскорізальний ґрунтообробний робочий орган, слід пам'ятати, що для його заглиблення у ґрунт він має бути установлений до поверхні поля під певним кутом. Дослідженнями встановлено, що зростання цього кута приблизно до 5° обумовлює більш стабільний хід робочого органу по глибині обробітку ґрунту. Взагалі ж значина кута нахилу плоскорізального робочого органу для обробітку парів у поздовжньо-вертикальній площині взагалі вимагає уточнення. У першому наближенні можна вважати, що величина цього важливого конструктивного параметру не повинна перевищувати 5°.

Як бачимо, обґрунтований вибір цього і таких параметрів боронувальної секції, як: висота зуба; поздовжня відстань між рядами зубів борони; кут нахилу повідків боронувальної секції у горизонтальній площині; координати приєднання повідків борони до рами знаряддя, вимагає розгляду динамічної рівноваги боронувальної секції у поздовжньо-вертикальній площині проекцій. Аналіз відомих на даний момент науково-інформаційних джерел вказує, що методики вирішення вищеозначеної задачі поки що не існує.

Мета досліджень

Метою даних досліджень є розроблення математичного апарату, використання якого дозволить здійснити обґрунтований вибір таких конструктивних параметрів боронувального знаряддя, які обумовлять стійкість його руху у поздовжньо-вертикальній площині і забезпечить у подальшому збереження ґрунтової вологи при обробленні парів.

Результати досліджень

У процесі здійснення робочого руху, обумовленого дією сили P (рис. 2), відхилення боронувальної ланки від стабільного положення може проявлятися у вигляді її повороту на кут β відносно осі, яка є перпендикулярною до поздовжньо-вертикальної площини XOY і проходить через т. O.

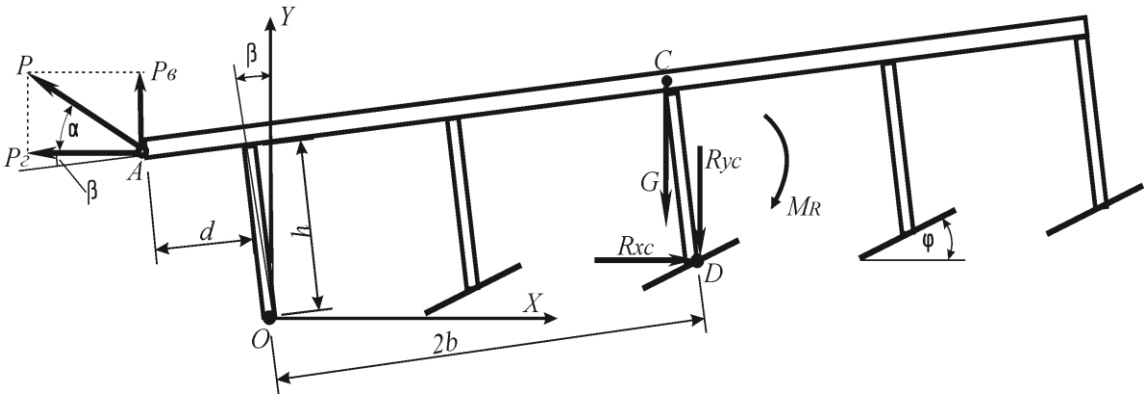


Рис. 2. Еквівалентна схема сил, які діють на боронувальну ланку під час її руху у поздовжньо-вертикальній площині.

Fig. 2. Equivalent schematic of forces acting on the harrowing section during its movement in the longitudinal-vertical plane.

Виведення диференціального рівняння такого кутового переміщення розглядуваного ґрунтообробного знаряддя (секції борони) здійснюватимемо з урахуванням наступних припущень.

1. Сила ваги боронувальної ланки *G* зосереджена у точці *C* (див. рис. 2), яка розташована у площині середнього ряду її зубів.

Правомірність цього припущення випливає із наступного аналізу. У плані (тобто при погляді зверху) рама боронувальної ланки виглядає як прямокутник, трансформований у «зигзагоподібну» форму. Борона має 20 плоских зубів із сегментами, загальна маса яких щонайменше у 20 разів менша за масу рами боронувальної секції. З урахуванням цього можна вважати, що центр її ваги зневажливо мало відхиляється від точки, яка розташована у вертикальній площині, що проходить через середній ряд зубів борони.

2. Тяговий опір боронувальної ланки репрезентують його горизонтальна (R_{xc}) і вертикальна (R_{yc}) складові, прикладені у «центрі опору» ґрунтообробного знаряддя (т. *D*, рис. 2). Окрім цього на знаряддя діє неврівноважений момент M_R. З урахуванням умов (у даній статті вони не розглядаються) статичної рівноваги боронувальної секції у розглядуваніq площині вказані сили і момент знаходяться із наступних виразів:

$$P_{xc} = 0{,}8 \cdot P_{\text{г}}; \quad (2)$$

$$P_{yc} = 0{,}8 \cdot \text{P}_{\text{г}} \cdot ctg(\varphi + \varphi_{\text{т}}); \quad (3)$$

$$M_R = 0{,}4 \cdot \text{P}_{\text{г}} \cdot b \cdot ctg(\varphi + \varphi_{\text{т}}). \quad (4)$$

3. Кут повороту боронувальної ланки β є таким, для якого справедливі наступні співвідношення: *sin*β ≈ β, а *cos* β ≈1.

Правомірність цього припущення обумовлена мализною кута β, максимальна значина якого, як показали попередні дослідження, не перевищує 8°.

При здійсненні поворотного руху боронувальної секції відносно т. *O* (див. рис. 2) вона має лише один ступінь вільності (тобто узагальнену координату) – кут β. Кінетична енергія *T* цієї динамічної системи розраховується із виразу [8]:

$$T = \frac{J_o \cdot \dot{\beta}^2}{2}, \quad (5)$$

де J_o – момент інерції борони відносно осі, яка є перпендикулярною до площини *XOY* і проходить через т. *O* (див. рис. 2), Н·м·с².

Характер і величину розсіювання енергії кутових коливань боронувальної ланки репрезентує дисипативна функція *Ф*, яка пропорційна швидкостям опору вертикального переміщення у ґрунті другого, третього, четвертого та п'ятого рядів зубів ґрунтообробного знаряддя.

Величина вертикального переміщення рядів зубів борони становить:

- для другого ряду – β·*b*;
- для третього ряду – β·2*b*;
- для четвертого ряду – β·3*b*;
- для п'ятого ряду – β·4*b*.

З урахуванням цього маємо:

$$\Phi = \frac{\text{K}_{\text{г}} \cdot \left(\text{b} \cdot \dot{\beta}\right)^2}{2} + \frac{\text{K}_{\text{г}} \cdot \left(2\text{b} \cdot \dot{\beta}\right)^2}{2} + \frac{\text{K}_{\text{г}} \cdot (3\text{b} \cdot \dot{\beta})^2}{2} + \frac{\text{K}_{\text{г}} \cdot (4\text{b} \cdot \dot{\beta})^2}{2}.$$

У підсумку вираз для дисипативної функції розсіювання боронувальною ланкою енергії кутових коливань є таким:

$$\Phi = 15 \cdot \text{K}_{\text{г}} \cdot b^2 \cdot \dot{\beta}^2, \quad (6)$$

де $\text{K}_{\text{г}}$ – коефіцієнт опору вертикального переміщення робочих органів боронувальної ланки у ґрунті, Н·с/м.

Математичну модель поворотного руху розглядуваної динамічної системи запишемо у вигляді рівняння Лагранжа II-го роду [8]:

$$\frac{d}{\partial t} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} - \frac{\partial T}{\partial \beta} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\beta}} = M_o, \quad (7)$$

де M_o – узагальнений момент, який обумовлює прояв прийнятої до аналізу узагальненої координати – кута β, Н·м.

Із рівняння (7) видно, що кінетична енергія розглядуваної динамічної системи залежить лише від швидкості зміни узагальненої координати (кута β). У зв'язку з цим з урахуванням виразу (5):

$$\frac{\partial \text{T}}{\partial \beta} = 0, \quad \text{а} \quad \frac{\partial \text{T}}{\partial \dot{\beta}} = J_{\text{o}} \cdot \dot{\beta}.$$

Частинні похідні за часом при цьому є такими:

- для кінетичної енергії:

$$\frac{d}{\partial t} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} = J_o \cdot \ddot{\beta}. \quad (8)$$

- для дисипативної функції, враховуючи вираз (6):

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\beta}} = 30 \cdot \text{K}_{\text{г}} \cdot b^2 \cdot \dot{\beta}. \quad (9)$$

Узагальнена величина M_o, яка входить до складу рівняння (7), є алгебраїчною сумою усіх моментів, які діють на боронувальну ланку відносно т. *O* (рис. 2), Н·м. Враховуючи вирази (2), (3) і (4), у підсумку ця сума може бути представлена так:

$$M_o = \begin{pmatrix} -P_{\text{г}} \cdot tg\alpha \cdot h - P_{\text{г}} \cdot d + \\ +G \cdot h - 1{,}6 \cdot P_{\text{г}} \cdot b \end{pmatrix} \cdot \beta - 0{,}4 \cdot b \cdot P_{\text{г}} \times \times ctg(\varphi + \varphi_{\text{т}}). \quad (10)$$

Завершальним етапом отримання математичної моделі поворотного руху розглядуваної динамічної системи є підставляння у вихідний вираз (7) залежностей (8), (9) і (10). У підсумку отримуємо:

$$\ddot{\beta} + \text{K}_2 \cdot \dot{\beta} + \text{K}_1 \cdot \beta = K_o, \quad (11)$$

де $K_2 = 30 \cdot K_{\text{г}} \cdot b^2 / J_o$;

$K_1 = [P_{\text{г}} \cdot (d + 1{,}6 \cdot b + tg\alpha \cdot h) - G \cdot h] / J_o$;

$K_o = -0{,}4 \cdot b \cdot P_{\text{г}} \cdot ctg(\varphi + \varphi_{\text{т}})$.

Аналіз виразу (11) показує, що поворотний рух боронувальної ланки у поздовжньо-вертикальній площині описується неоднорідним диференціальним рівнянням другого порядку з постійними коефіцієнтами. Причому, постійною є і його права частина.

Математичне моделювання поворотного руху боронувальної ланки у вказаній площині за рівнянням (11) передбачається здійснювати за зміни її конструктивних параметрів у наступних діапазонах: b = 0,15…0,45 м; h = 0,08…0,14 м; d = 0…0,20 м; G = 250…450 Н; α = 0…20°.

Момент інерції боронувальної ланки J_o з достатньою для практики точністю можна розраховувати із виразу, який враховує зміну таких її конструктивних параметрів, якими є *G*, *b* і *h*:

$$J_{\text{o}} = \frac{G}{g \cdot 12} \cdot (52 \cdot b^2 + 12 \cdot h^2),$$

де g – прискорення вільного падіння, 9.81 м/с².

З огляду на те, що робота даного ґрунтообробного знаряддя зазвичай розпочинається за вологості ґрунту 20…24 %, кут тертя для нього ($\varphi_{\text{т}}$) і коефіцієнт опору вертикального переміщення робочих органів боронувальної ланки у ньому ($K_{\text{г}}$) приймаємо постійними і рівними [9]: $\varphi_{\text{т}}$ = 60°; $K_{\text{г}}$ = 5000 Н·с/м.

Кут установки плоскорізальних сегментів борони до горизонту (φ) на підставі вище приведених міркувань, теж приймаємо постійним і рівним 5°.

Середня значина горизонтальної складової тягового опору боронувальної ланки ($P_{\text{г}}$), визначена у відповідності з попередніми польовими випробуваннями, прийнята рівною 1500 Н.

Оскільки математична модель руху боронувальної секції у поздовжньо-вертикальній площині (11) описується лінійним неоднорідним диференціальним рівнянням з постійними коефіцієнтами, то загальним його рішенням є:

$$\beta = \bar{\beta} + \tilde{\beta}, \quad (12)$$

де $\bar{\beta}$ – рішення рівняння (11) як однорідного, тобто коли K_{o} = 0;

$\tilde{\beta}$ – частинне рішення рівняння (11).

Для знаходження $\bar{\beta}$ однорідну частину рівняння (11) представимо у характеристичній формі [10]:

$$\lambda^2 + \mathrm{K}_2 \cdot \lambda + \mathrm{K}_1 = 0. \qquad (13)$$

Дискримінант цього рівняння (D) у розгорнутому вигляді є таким:

$$D = \frac{900 \cdot K_r^2 \cdot b^4}{J_o^2} - \frac{4 \cdot [P_r \cdot (d + 1{,}6 \cdot b + tg\alpha \cdot h) - G \cdot h]}{J_o}. \qquad (14)$$

В залежності від значин тих параметрів, які входять до виразу (14), величина дискримінанту D може бути:

а) позитивною;

б) рівною нулю;

в) від'ємною.

Розрахунки виразу (14) з урахуванням викладених вище діапазонів зміни параметрів b, h, d, G, α, φ, K_r, P_r і J_o показують, що величина дискримінанту D може бути лише позитивною. Корені (тобто розв'язок) рівняння (13) при цьому такі:

$$\lambda_1 = \frac{-\mathrm{K}_2 + \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}}{2};$$

$$\lambda_2 = \frac{-\mathrm{K}_2 - \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}}{2}.$$

З урахуванням цього рішенням рівняння (11) як однорідного є [11]:

$$\bar{\beta} = e^{\frac{1}{2}\cdot\left(-\mathrm{K}_2 + \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4\cdot\mathrm{K}_1}\right)\cdot t} \cdot \mathrm{C}_1 + e^{\frac{1}{2}\cdot\left(-\mathrm{K}_2 - \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4\cdot\mathrm{K}_1}\right)\cdot t} \cdot \mathrm{C}_2,$$

де C_1, C_2 – постійні диференціювання.

Згідно з основами теорії диференціального числення [11] рішення $\tilde{\beta}$ рівняння (11) шукатимемо у вигляді:

$$\beta = \mathrm{C}.$$

Так як перша і друга похідні від постійної величини С дорівнюють нулю, то з урахуванням вищеозначеного із рівняння (11) отримуємо:

$$K_1 \cdot \mathrm{C} = K_o,$$

звідки знаходимо

$$C = \tilde{\beta} = K_o / K_1.$$

На підставі вищевикладеного можна записати, що загальне рішення (12) рівняння (11) має наступний вид:

$$\beta = \frac{\mathrm{K}_o}{\mathrm{K}_1} + e^{\frac{1}{2}\cdot\left(-\mathrm{K}_2 + \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4\cdot\mathrm{K}_1}\right)\cdot t} \cdot \mathrm{C}_1 + e^{\frac{1}{2}\cdot\left(-\mathrm{K}_2 - \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4\cdot\mathrm{K}_1}\right)\cdot t} \cdot \mathrm{C}_2. \qquad (15)$$

Для знаходження постійних C_1 і C_2 потрібна ще одна залежність, яка б зв'язувала ці величини. Її можна отримати шляхом диференціювання за часом виразу (15). У даному випадку отримуємо:

$$\dot{\beta} = \frac{1}{2} \cdot \left(-\mathrm{K}_2 + \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}\right) \cdot e^{\frac{1}{2}\cdot\left(-\mathrm{K}_2 + \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4\cdot\mathrm{K}_1}\right)\cdot t} \cdot \mathrm{C}_1 + \frac{1}{2} \cdot \left(-\mathrm{K}_2 - \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}\right) \cdot e^{\frac{1}{2}\cdot\left(-\mathrm{K}_2 - \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4\cdot\mathrm{K}_1}\right)\cdot t} \cdot \mathrm{C}_2. \qquad (16)$$

За умови t = 0 маємо $\beta = 0$ і $\dot{\beta} = 0$. З урахуванням цього із виразу (16) знаходимо, що

$$\mathrm{C}_1 = -\frac{-\mathrm{K}_2 - \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}}{-\mathrm{K}_2 + \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}} \cdot \mathrm{C}_2. \qquad (17)$$

Підставивши (17) у (16), після перетворень отримуємо:

$$\mathrm{C}_2 = -\frac{\mathrm{K}_o \cdot \left(-\mathrm{K}_2 + \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}\right)}{2 \cdot \mathrm{K}_1 \cdot \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}}. \qquad (18)$$

Своєю чергою, підставивши значину C_2 із (18) у (17), отримаємо залежність, яка дозволяє визначити невідому константу C_1:

$$\mathrm{C}_1 = \frac{\mathrm{K}_o \cdot \left(-\mathrm{K}_2 - \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}\right)}{2 \cdot \mathrm{K}_1 \cdot \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}}. \qquad (19)$$

На завершення, підставивши вирази (19) і (18) у (16), після здійснення відповідних математичних перетворень отримаємо розв'язок диференціального рівняння (11), який описує процес зміни у часі кута повороту боронувальної секції β у поздовжньо-вертикальній площині:

$$\beta = \frac{\mathrm{K}_o}{\mathrm{K}_1} + e^{\frac{1}{2}\cdot\left(-\mathrm{K}_2 + \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4\cdot\mathrm{K}_1}\right)\cdot t} \times \times \frac{\mathrm{K}_o \cdot \left(-\mathrm{K}_2 - \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}\right)}{2 \cdot \mathrm{K}_1 \cdot \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}} - - e^{\frac{1}{2}\cdot\left(-\mathrm{K}_2 - \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4\cdot\mathrm{K}_1}\right)\cdot t} \times \times \frac{\mathrm{K}_o \cdot \left(-\mathrm{K}_2 + \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}\right)}{2 \cdot \mathrm{K}_1 \cdot \sqrt{\mathrm{K}_2^2 - 4 \cdot \mathrm{K}_1}}. \qquad (20)$$

Рівняння (20) у підсумку дозволяє вивчити вплив відповідного конструктивного параметра боронувальної ланки на динаміку зміни у часі кута її повороту β у поздовжньо-вертикальній площині. Вектором (тобто напрямком) математичного моделювання при цьому є встановлення такої значини того чи іншого конструктивного параметру, яка забезпечуватиме якомога менший час виходу динамічної системи (боронувальної секції) у положення стабільної рівноваги за умови якомога меншої значини кута її повороту β.

Результати розрахунку виразу (20) свідчать, що коливання кута повороту боронувальної ланки у поздовжньо-вертикальній площині відносно т. О (див. рис. 2) мають аперіодичний характер (рис. 3).

У процесі руху борона здійснює кутові відхилення за часовою стрілкою, на що вказує від'ємна значина параметра β. Причому, чим більша відстань між рядами зубів боронувальної ланки (параметр b), тим довшим є час її виходу до усталеного положення. Так, якщо при значині b = = 0,15 м усталений рух борони наступає приблизно після 16 с (крива 1, рис. 3), то при b = 0,45 м такий стан динамічної системи наступає не раніше, ніж через 65 с (крива 3). Більше того, коли у першому випадку борона відхиляється на кут – 4,8°, то у другому цей показник зростає до – 5,8°. Наголосимо, що більш важливим при цьому є не різниця між кутами β, яка становить лише 1°, а тенденція поведінки розглядуваної динамічної системи за умови зміни такого параметра, як відстань між рядами зубів борони. У даному випадку вона така: чим менша значина параметра b, тим меншим як за амплітудою, так і часом (тобто фазою) є відхилення ґрунтообробного знаряддя від рівноважного стану.

Протилежний (у якісному плані) вплив на кут повороту боронувальної секції здійснює координата виносу точки кріплення її (борони) повідків. Так, при

установленні їх з виносом $d = 0$ усталений рух борони наступає тільки через 70 с і характеризується він від'ємним нахилом (поворотом) ґрунтообробного знаряддя на кут $\beta = -6{,}5^{o}$ (крива 1, рис. 4).

При збільшенні значини параметра d до 0,10 м усталений рух боронувальної ланки наступає приблизно через той же час (тобто 70 с), але кут відхилення знаряддя зменшується при цьому до $-5{,}7^{o}$ (крива 2, рис. 4).

Водночас, при збільшенні виносу точки кріплення повідків боронувальної ланки до d = 0,20 м час переходу до усталеного її руху наступає через 38 с, тобто зменшується (у порівнянні з двома попередніми варіантами) практично удвічі. Кут відхилення борони від її горизонтального положення при цьому теж зменшується і становить $-4{,}6^{o}$ (крива 3, рис. 4). Цілком зрозуміло, що це є, безумовно, позитивним фактором.

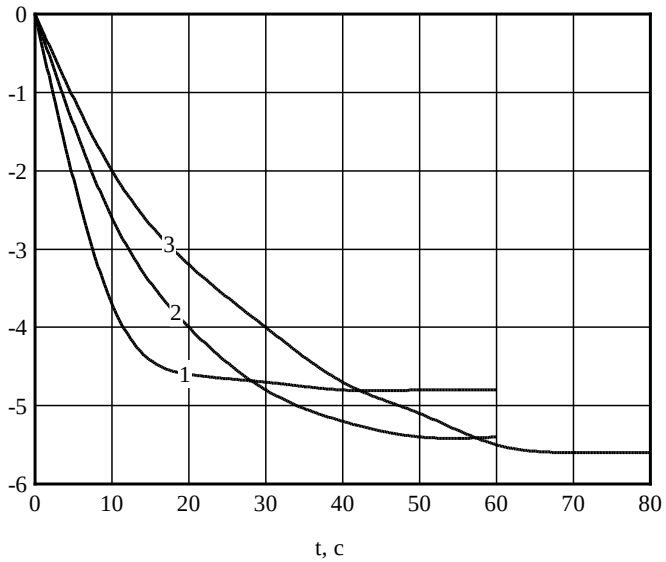


Рис. 3. Динаміки зміни кута повороту боронувальної ланки за різної відстані між рядами її зубів: 1 – b = = 0,15 м; 2 – b = 0,30 м; 3 – b = 0,45 м.

Fig. 3. Dynamics change of the harrowing section's turn angle at various distances between the rows its tines.

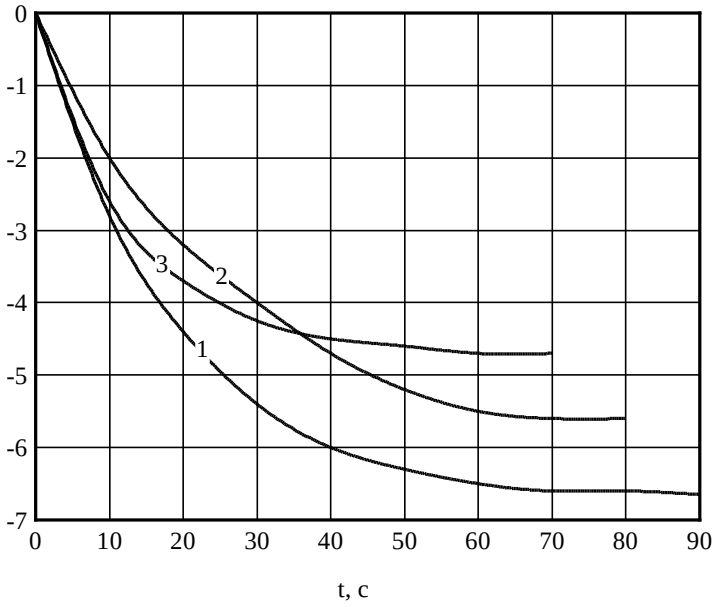


Рис. 4. Динаміки зміни кута повороту боронувальної ланки за різного виносу точки кріплення її повідків: 1 – d = 0; 2 – d = 0,10 м; 3 – d = 0,20 м.

Fig. 4. Dynamics change of the harrowing section's turn angle at various layout its dragbars attachment points.

На відміну від вище проаналізованих конструктивних параметрів, кут нахилу повідків боронувальної ланки α мало впливає на динаміку її повороту у поздовжньо-вертикальній площині. Зміна цього параметру з 0 до 20° сприяє зменшенню кута β лише на $0{,}5^{o}$ (рис. 5).

Ще менший вплив на кут відхилення боронувальної ланки від горизонтального положення

здійснюють її сила ваги (G) і висота зубів (h). За зміни цих конструктивних параметрів у вказаних вище діапазонах кут повороту борони β змінюється в межах 0,15…0,20°. Тобто динаміка стійкості розглядуваного ґрунтообробного знаряддя інваріантна по відношенню до значин α і h.

Аналіз вищевикладеного матеріалу дозволяє вибрати такі значини конструктивних параметрів, які обумовлюють зменшення кута відхилення борони від горизонтального положення і часу виходу її до нового рівноважного стану. Так, розрахунки свідчать, що при $P_г$ = 1500 Н, G = 300 Н, φ = 5°, $\varphi_т$ = 60°, α = 25°, h = 0,14 м, b = 0,15 м і d = 0,25 м значина кута повороту боронувального знаряддя у поздовжньо-вертикальній площині β не перевищуватиме – 3° (рис. 6).

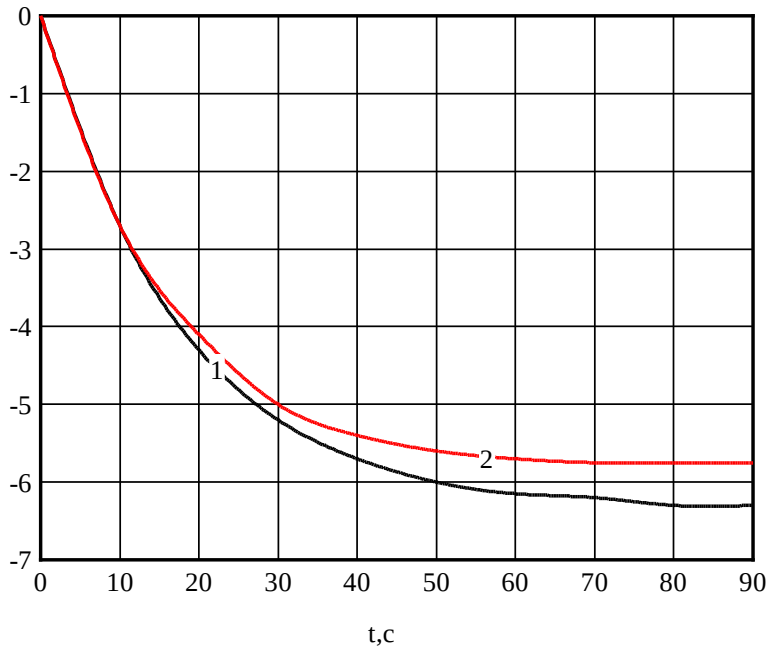


Рис. 5. Динаміки зміни кута повороту боронувальної ланки за різної кута нахилу її повідків: 1 – α = 0; 2 – α = 20°.

Fig. 5. Dynamics change of the harrowing section's turn angle at various slope angle its dragbars.

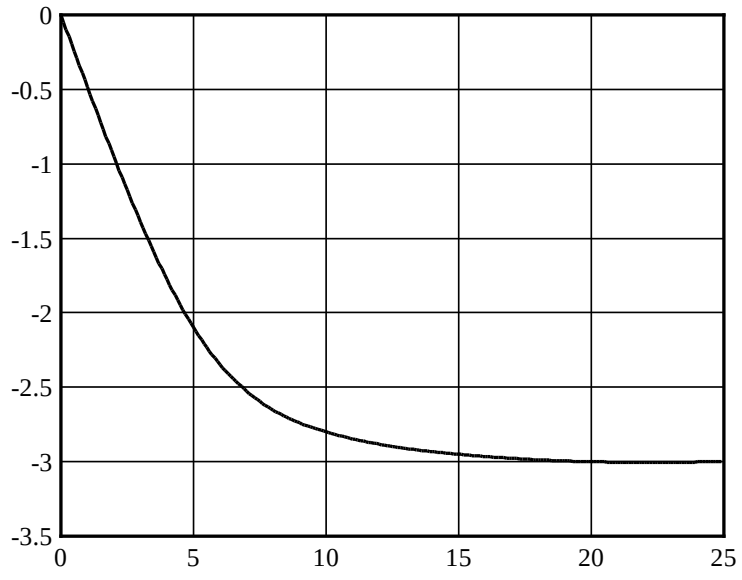


Рис. 6. Динаміка зміни кута повороту боронувальної ланки за раціональних значин її конструктивних параметрів.

Fig. 6. Dynamics change of the harrowing section's turn angle with rational values of its design parameters.

Причому, вихід боронувальної ланки до нового рівноважного стану становить при цьому 16 с.

Слід підкреслити, що наведені вище результати отримано за умови позитивної значини дискримінанта D характеристичного рівняння (14). Водночас, за умови роботи боронувального знаряддя на легких ґрунтах (супісках, наприклад), для яких значина коефіцієнту опору вертикального переміщення

робочих органів боронувальної ланки у ґрунті $K_г$ є меншою на порядок, дискримінант D, як випливає із аналізу рівняння (14), може бути від'ємним.

Загальне рішення (12) диференціального рівняння (11) у розкритому вигляді буде при цьому таким:

$$\beta = \frac{К_0}{К_1} + e^{-\frac{1}{2}K_2 t} \cdot \left[\begin{array}{l} C_1 \cdot sin\left(\frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} t\right) + \\ + C_2 \cdot cos\left(\frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} t\right) \end{array} \right]. \quad (21)$$

Для знаходження постійних диференціювання C_1 і C_2 врахуємо наступні початкові умови:

$$t = 0;$$
$$\beta = 0;$$
$$\dot{\beta} = 0.$$

З урахуванням цього із виразу (21) одразу ж знаходимо, що:

$$C_2 = -\frac{К_0}{К_1}. \quad (22)$$

Після диференціювання рівняння (21) за часом, отримуємо вираз для визначення швидкості зміни кута β (тобто першої похідної):

$$\dot{\beta} = e^{-\frac{1}{2}K_2 \cdot t}\left[К \cdot cos(К \cdot t) - \frac{К_2}{2} \cdot sin(K \cdot t)\right] \cdot C_1 -$$
$$- e^{-\frac{1}{2}K_2 \cdot t}\left[К \cdot sin(К \cdot t) + \frac{К_2}{2} \cdot cos(K \cdot t)\right] \cdot C_2, \quad (23)$$

де $К = \sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}\Big/2$.

Проаналізувавши вираз (23) з урахуванням вищевикладених початкових умов стосовно t, β і $\dot{\beta}$, знаходимо функціональний взаємозв'язок між постійними диференціювання C_1 і C_2:

$$C_1 = \frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} \cdot C_2.$$

Приймаючи до уваги вираз (22), із отриманого рівняння знаходимо залежність для визначення значини постійної C_1, яка є такою:

$$C_1 = -\frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} \cdot \frac{К_0}{К_1}. \quad (24)$$

Насамкінець, підставивши формули (22) і (24) у залежність (23), після відповідних перетворень знаходимо загальне рішення диференціального рівняння (11), яке описує процес повороту боронувальної ланки у поздовжньо-вертикальній площині за умови від'ємної значини дискримінанту D характеристичного рівняння (13):

$$\beta = \frac{К_0}{К_1} \times$$
$$\times \left\{ \begin{array}{c} 1 - e^{-\frac{1}{2}К_2 t} \times \\ \times \left[\begin{array}{c} \frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} \cdot \sin\left(\frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} t\right) + \\ + \cos\left(\frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} t\right) \end{array} \right] \end{array} \right\}. \quad (25)$$

Розрахунками встановлено, що у підтвердження викладених вище міркувань найвідчутніший вплив на знак дискримінанту D (12) характеристичного рівняння (11) здійснює значина коефіцієнту опору вертикального переміщення робочих органів боронувальної ланки у ґрунті $K_г$. На ґрунтах легкого гранулометричного складу його значина може становити 200 Н·с/м.

Динаміка поворотного руху боронувальної ланки у поздовжньо-вертикальній площині здійснюється за законом, описуваним рівняння (25). Характерними його ознаками є наявність експоненціальної і гармонічної складових коливань кута β.

Аналіз результатів здійснених за цим виразом розрахунків показує наступне. Під час роботи боронувального знаряддя за таких ґрунтових умов (репрезентованих значиною коефіцієнту $К_г$) поворот його на кут, близький до 3° забезпечити можна практично за тих же самих:

- значин висоти зубів h;
- відстані між зубами боронувальної ланки у поздовжньому напрямку b;
- кута установки плоскорізальних елементів зубів до горизонту φ;
- координати виносу точки кріплення повідків d;
- кута нахилу повідків боронувальної ланки до горизонтальної площини α (рис. 7).

Винятком (крім, звичайно, коефіцієнта $K_г$) є вага боронувальної ланки G. У цьому випадку вона має бути збільшеною до 550 Н.

Іншими словами, маса борони замість 30…35 кг має становити щонайменше 56 кг. Практична реалізація такого рішення передбачає баластування її відповідною масою.

Другим варіантом вирішення цієї проблеми може бути виготовлення боронувальних ланок саме такої експлуатаційної маси (тобто 56 кг), що з точки зору металоємності знаряддя є небажаним.

Результати математичного моделювання свідчать, що при обробітку боронувальним знаряддям механічно легких (за складом) ґрунтів час виходу ним до рівноважного стану (t) значно менший. Так, якщо при роботі на суглинках цей показник становить приблизно 16 с (див. рис. 6), то при обробітку супісків він зменшується до 0,7 с, тобто щонайменше у 22 рази (рис. 7). Вочевидь такий результат є цілком логічним із-за малої значини коефіцієнту опору вертикального переміщення робочих органів боронувальної ланки у легкому ґрунті, який характеризується коефіцієнтом $K_г$.

Виходячи із аналізу залежності (25), на перший погляд напрошується наступний висновок: динаміка поворотного руху боронувальної ланки у поздовжньо-вертикальній площині мала б характеризуватися періодичними коливаннями кута β, обумовленими наявністю множника (позначимо його $D1$), зосередженого у квадратних дужках:

$$D1 = \frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} \cdot sin\left(\frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} t\right)$$
$$+ cos\left(\frac{К_2}{\sqrt{К_2^2 - 4 \cdot К_1}} t\right).$$

З іншого боку, динаміці коливань боронувальної ланки притаманний монотонно спадаючий експоненціальний характер, описуваний іншим множником (позначимо його $D2$) виразу (25):

$$D2 = \mathrm{e}^{-\frac{1}{2}\cdot K_2 t}.$$

Порівняння динаміки зміни цих множників (тобто $D1$ і $D2$) у часі показує наступне (рис. 8). Якщо значина множника $D1$, який у принципі (із-за наявності періодичних функцій sin і cos) репрезентує періодичні коливання динамічної системи, зростає, то значина показника $D2$ при цьому, навпаки, відповідним чином зменшується.

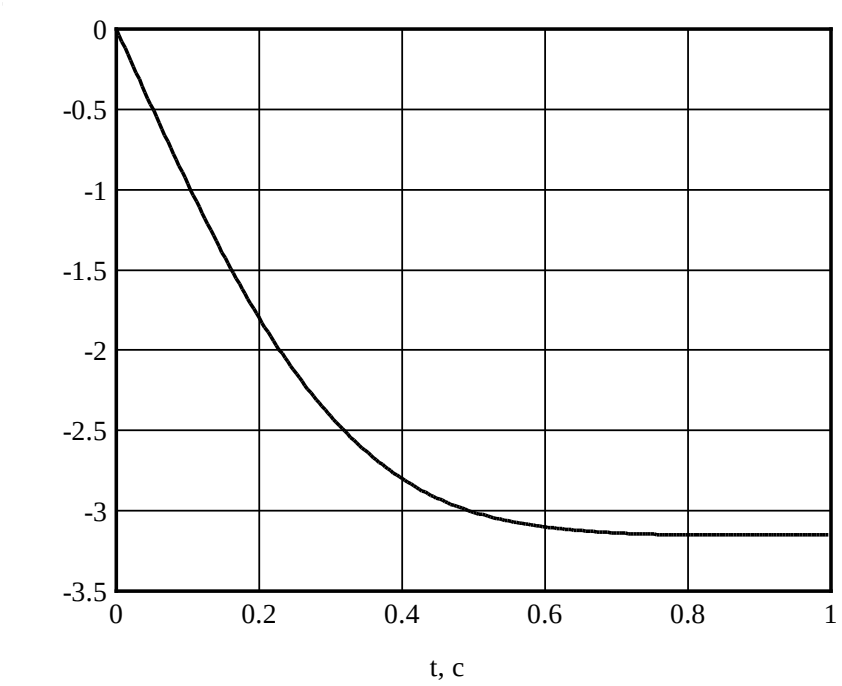


Рис. 7. Динаміка зміни кута повороту боронувальної ланки за умови її роботи на легких ґрунтах.
Fig. 7. Dynamics change of the harrowing section's turn angle when working on light soils.

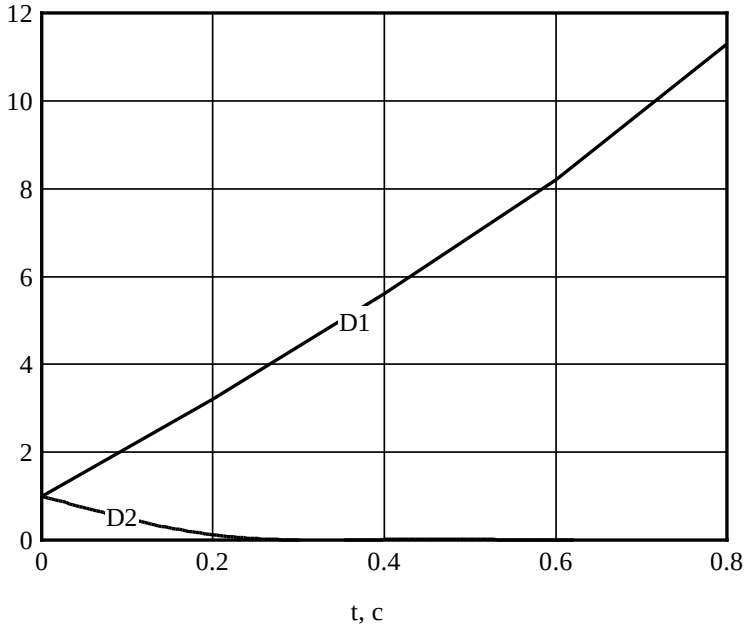


Рис. 8. Динаміка зміни у часі множників $D1$ і $D2$.
Fig. 8. Dynamics change in time *D1* and *D2* multipliers.

Причому, інтенсивність зменшення множника $D2$ (тобто експоненти) настільки перевищує інтенсивність зростання множника $D1$, що їх добуток зменшується практично за експоненціальним законом. Саме це і пояснює аперіодичний характер коливань кута повороту боронувальної секції (β) у поздовжньо-вертикальній площині проекцій.

Висновки

1. Чим менша значина відстані між рядами зубів боронувальної ланки b, тим меншим як за амплітудою, так і часом (тобто фазою) є відхилення ґрунтообробного знаряддя від рівноважного стану. Так, при зменшенні параметра b втричі (з 0,45 до 0,15 м) кут повороту ґрунтообробного знаряддя зменшується на 1°, а фаза – з 65 до 16 с (тобто у 4 рази).

2. При збільшенні координати виносу точки кріплення повідків борони з 0 до 0,2 м кут її відхилення від горизонтального положення і час виходу до нового рівноважного стану зменшуються практично вдвічі, що є бажаним результатом.

3. Розрахунки свідчать, що при значинах параметрів $P_г$ = 1500 Н, G = 300 Н, $\varphi = 5^o$, $\varphi_т = 60^o$, $\alpha = 25^o$, h = 0,14 м, b = 0,15 м і d = 0,25 м значина кута повороту боронувальної секції у поздовжньо-вертикальній площині не перевищуватиме – 3°, а її вихід до нового рівноважного стану становить при цьому не більше 16 с.

4. На агрофонах легкого гранулометричного складу, який характеризується малою значиною коефіцієнту опору вертикального переміщення робочих органів боронувальної ланки у ґрунті, час її виходу до рівноважного стану суттєво зменшується. Так, якщо при роботі на суглинках цей показник становить приблизно 16 с, то при обробітку супісків він зменшується до 0,7 с, тобто щонайменше у 22 рази.

Список літератури

1. *Надикто В. Т., Тиховод М. А.* Роль парів у збереженні та накопиченні вологи грунту. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2020. Вип. 20. Т. 2. С. 3-23.

2. *Коломиец А. П.* Борона-культиватор ВНИС-Р на свекловичных плантациях. Сахарная свекла. 1974. №3. С. 14-16.

3. *Радченко А. Г.* Теоретические основы послойно-ярусной обработки почвы. Вопросы агротехники получения высоких урожаев. Киев. ВНИС, 1972. С. 28-32.

4. *Юнусов Г. С.* Разработка блочно-модульного агрегата для предпосевной обработки почвы. МарГУ. Йошкар-Ола. 2001. 140 с.

5. *Труфанов В. В.* Результаты исследования зубовых борон новой конструкции. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1986. №4. С. 12-14.

6. *Халанский В. М., Ходаей Д.* Результаты испытаний экспериментальной зубовой бороны с активными рабочими органами. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. №11. С. 9-12.

7. *Босой Е. С., Верняев О. В., Смирнов И. И. и другие.* Теория, конструирование и расчет сельскохозяйственных машин. Под ред. *Е. С. Босого*. Москва. Машиностроение. 1977. 568 с.

8. *Булгаков В. М., Яременко В. В., Черниш О. М., Березовий М. Г.* Теоретична механіка: підручник. Київ. Центр учбової літератури. 2017. 640 с.

9. *Жук А. Ф.* Исследование почвообрабатывающего клина с почвенным наростом. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. Вип. 97. С. 28-33.

10. *Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Москва. Наука. 1981. 720 с.

11. *Самойленко А. М., Перестюк М. О., Парасюк І. О.* Диференціальні рівняння. Київ. Либідь. 2003. 600 с.

References

1. *Nadykto V. T., Tikhovod M. A.* (2020). The role of vapors in the preservation and accumulation of soil moisture. Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University. Vol. 20. Issue 2. P. 3-23.

2. *Kolomiets A. P.* (1974). Harrow-cultivator VNIS-P on beet plantations. Sugar beet. №3. P. 14-16.

3. *Radchenko A. G.* (1972). Theoretical foundations of layer-by-layer tillage. Questions of agricultural techniques for obtaining high yields. Kyiv. VNIS. P. 28-32.

4. *Unusov G. S.* (2001). Development of block-modular unit for pre-sowing tillage. MarSU. Yoshkar-Ola. 140 p.

5. *Trufanov V. V.* (1986). The results of the study of dental harrows of new design. Tractors and agricultural machinery. №4. P. 12-14.

6. *Khalanskiy V. M., Khodaey D.* (2005). The results of tests of experimental dental harrow with active working bodies. Tractors and agricultural machinery. №11. P. 9-12.

7. *Bosoy E. S., Vernyaev O. V., Smirnov I. I.,* etc. (1977). Theory, design and calculation of agricultural machinery. Ed. *E. S. Bosoy*. Moscow. Mechanical engineering. 568 p.

8. *Bulgakov V. M., Yaremenko V. V., Chernish O. M., Berezoviy M. G.* (2017). Theoretical mechanics: textbook. Kyiv. Center for Educational Literature. 640 p.

9. *Zhuk A. F.* (2013). Study of tillage wedge with soil growth. Mechanization and electrification of agriculture. Vol. 97. P. 28-33.

10. *Bronshteyn I. N., Semendyaev K. A.* (1981). Handbook of mathematics for engineers and university students. Moscow. Science. 720 p.

11. *Samoylenko A. M., Perestuk M. O., Parasuk I. O.* (2003). Differential equations. Kyiv. Lybid. 600 p.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ БОРОНОВАЛЬНОЙ СЕКЦИИ

В. Т. Надыкто, Н. А. Тиховод

Аннотация. В статье рассмотрена динамика функционирования в продольно-вертикальной плоскости одной прицепной бороновальной секции, предназначенной для обработки паров. В качестве оценочного показателя принято отклонение этой динамической системы от горизонтального положения. Теоретическими исследованиями установлено, что чем меньше расстояние между рядами зубьев бороновального звена, тем меньше как по амплитуде, так и времени (то есть по фазе) отклонение почвообрабатывающего орудия от

равновесного состояния. При увеличении координаты выноса точки крепления поводков бороны с 0 до 0,2 м угол ее отклонения от горизонтального положения и время выхода к новому равновесному состоянию уменьшаются практически вдвое, что является желаемым результатом. Аналитическим путем установлено, что при рациональных конструктивных параметрах бороновальной секции значение угла ее поворота в продольно-вертикальной плоскости не превышает -3°, а ее выход к новому равновесному состоянию составляет при этом не более 16 с. На агрофонах легкого гранулометрического состава, характеризующегося малым значением коэффициента сопротивления вертикального перемещения рабочих органов бороновальной секции в почве, время ее выхода к равновесному состоянию уменьшается с 16 до 0,7 с.

Ключевые слова: пар, боронование, бороновальная секция, угол поворота, устойчивость движения.

HARROW SECTION MOVEMENT SUSTAINABILITY ANALYSIS

V. T. Nadykto, M. A. Tikhovod

Abstract. The article discusses the sustainability dynamics in the longitude-vertical plane one trailed harrow section designed for fallow treatment. Deviation this dynamical system from the horizontal plane have accepted as the main estimated parameter. Theoretical studies have allowed received such as results. The fewer the distance between row tines of zigzag harrow section, the fewer its deviation amplitude and phase from the equilibrium state. When the attachment point coordinate of the harrow dragbars is increased from 0 to 0.2 m, its angle and time deviation from the equilibrium state is half as many that it is the desired result. When the harrow section has rational design parameters, its turn angle in the longitude-vertical plane does not exceed -3°, and time its output to the equilibrium state does not exceed 16 s. On soils with light grading, which have a low value of the vertical movement resistance coefficient of the harrow tines, time its output to the equilibrium state is reduced from 16 to 0.7 s.

Key words: harrow, harrowing, harrowing section, turn angle, movement sustainability.

В. Т. Надикто ORCID 0000-0002-1770-8297.
М. А. Тиховод ORCID 0000-0001-8463-5481.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 107-113*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.107-113

УДК 631.559.2

ОБГРУНТУВАННЯ РОЗМІЩЕННЯ КУЛЬТУР У СТРУКТУРІ ПОЛІВ ТА ОБСЯГІВ ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

В. М. Зубко

Сумський національний аграрний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: zubkovladislav@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 10, рис. 7, табл. 1.

Анотація. Розглянуто підходи до обґрунтування розміщення культур у структурі полів та обсягів виробництва для механізованих технологічних операцій, як складової структурно-логічної схеми розробки механізованого технологічного процесу. Обґрунтовано алгоритм розміщення агрокультур на полях, що має три варіанти вирішення в залежності від поставленої задачі у господарстві: агрокультури і їх площі вирощування не змінюються і поля з їх площами також не змінюються; агрокультури не змінюються, а їх площі вирощування змінюються, поля з їх площами не змінюються; агрокультури і їх площі змінюються, поля з їх площами не змінюються.

Визначені показники і досліджено їх вплив на кожну складову процесу вибору площ для вирощування запланованих агрокультур з матриці полів з використанням існуючих полів або їх частин, відповідно до даних матриці відношення культур для забезпечення запланованого обсягу виробництва продукції.

Ключові слова: агрокультура, поле, технологічна операція, умови вирощування, показники якості.

Постановка проблеми

Структурно-логічна схема розробки механізованого технологічного процесу та обґрунтування визначення якості систем машин, машинних агрегатів вирощування агрокультур розробляється з метою обґрунтування показників якості виконання технологічних процесів при вирощуванні аграрних культур, з урахуванням потреб рослин та сучасних і перспективних систем моніторингу ефективності роботи машинних агрегатів.

Структурно-логічна схема передбачає виконання наступних етапів проектування:

– вибір агрокультури, вивчення її потреб і аналіз умов вирощування;

– вибір технологічних операцій за визначеною технологією;

– вибір робочих органів для визначеної технологічної операції за умови дотримання агротехнічних вимог;

– вибір агромашин з обраним робочими органом;

– вибір енергетичного засобу для агрегатування з обраними агромашин;

– обґрунтування параметрів машинних агрегатів для забезпечення якості виконання кожної технологічної операції обраної технології;

– системний аналіз техніко-економічних та якісних показників із роботи машинних агрегатів з метою визначенням оптимального комплексу машин.

Порядок реалізації етапу вибору агрокультури, вивчення її потреб і аналізу умов вирощування на основі завдання для виробництва на вирощування агрокультур, має різні варіанти вирішення в залежності від поставлених задач у господарстві.

Аналіз останніх досліджень

Дослідженню проблем, пов’язаних із використанням техніки в сільському господарстві присвачено багато досліджень. Існуючий в агропромисловому комплексі виробничо-технічний потенціал вимагає значного підвищення віддачі від капітальних вкладень і матеріальних ресурсів. Науковці приходять до висновку, що тільки системний аналіз в сполученні з математичним моделюванням властивих йому процесів і взаємозв'язків є найбільш ефективним напрямком наукових досліджень в галузі сільськогосподарського виробництва [1-6].

У наукових працях академіка Погорілого Л. В. вперше обґрунтовано необхідність застосування системного аналізу для дослідження проблем машиновикористання. Фіном Е. А. розроблена система розрахунків механізованих технологій, комплексів машин для вирощування сільськогосподарських культур і комплектування парку машин для різного типу ЕОМ. Головний висновок його досліджень полягає в наступному: управління використанням машинно-тракторного парку може бути здійснене на основі аналізу обмеженого числа окреслених систем, для оптимізації

кожної з яких можуть бути запропоновані моделі і методи, засновані на загальних принципах математичного програмування та імітаційного моделювання.

Система, запропонована Саакяном Д. Н., передбачає п'ять взаємозалежних груп окремих показників – агротехнічні, експлуатаційні, промислові, економічні, загальнотехнічні, і естетико-ергономічні показники. Це найбільш повна система оцінки машин, що складається в сумі з 70 окремих показників.

В роботах Діденка М. К., Гречкосія В. Д., Мельника І. І. [7] розроблена математична модель, що дає змогу оптимізувати комплекс машин та машинно-тракторних агрегатів при виконанні деякої конкретної операції або технологічного процесу в цілому в залежності від обсягів виробництва або площі вирощування культури.

Доведено, що із збільшенням площі вирощування культур різко зменшуються приведені витрати та витрати праці на виконання операцій, а потім при досягненні визначених значень площ темп зниження цих показників значно зменшується й набуває сталих значень, що є основою для обґрунтування обсягів робіт.

Під керівництвом професора Мельника І. І. розроблена й впроваджена у виробництво та навчальний процес система "Комплексне машиновикористання", що передбачає комбіноване вирішення задачі обґрунтування складу комплексів машин і структури машинного парку в єдиному системному взаємозв'язку [8].

Мета досліджень

Мета досліджень полягає в обґрунтуванні алгоритмів визначення розміщення культур у структурі полів та обсягів виробництва для механізованих технологічних операцій, як складової структурно-логічної схеми розробки механізованого технологічного процесу.

Результати досліджень

Виходячи із завдання господарства, на основі структурно-логічної схеми, визначають агрокультури $Кул_{ij}$, відповідного сорту чи гібриду, які вирощуватимуться у господарстві (використовується створена бази агрокультур). Вибрані культури, для вирощування необхідного обсягу продукції, розміщаються на полях господарства S_{ij} (використовується створена матриця бази полів господарства). На вибраних полях для забезпечення розміщення вибраних агрокультур можливе часткове їх розташування на окремих полях. Створюємо алгоритм вирощування включаючи створення сівозмін.

Алгоритм розміщення агрокультур на полях має три варіанти вирішення в залежності від поставленої задачі у господарстві:

Варіант 1. Агрокультури і їх площі вирощування не змінюються і поля з їх площами також не змінюються (рис. 1).

Варіант 2. Агрокультури не змінюються, а їх площі вирощування змінюються. Поля з їх площами не змінюються (рис. 2).

Варіант 3. Агрокультури і їх площі змінюються. Поля з їх площами не змінюються (рис. 3).

Вихідні дані для рішення задачі за варіантом 1. Агрокультури і їх площі вирощування не змінюрться і поля з їх площами також не змінюються (рис. 4).

Агрокультури: назви $Кул_I$, їх кількість I і площі вирощування Sk_I.

Поля: номери полів F_I і їх площа Sp_I.

Вихідні дані для рішення задачі за варіантом 2. Агрокультури не змінюються, а їх площі вирощування змінюються. Поля з їх площами не змінюються (рис. 5).

Агрокультури: назви $Кул_I$, їх кількість і площі вирощування Sk_I.

Поля: номери полів F_I і їх площа Sp_I.

Попередники з їх площами.

Вихідні дані для рішення задачі за варіантом 3. Агрокультури і їх площі змінюються. Поля з їх площами не змінюються (рис. 6).

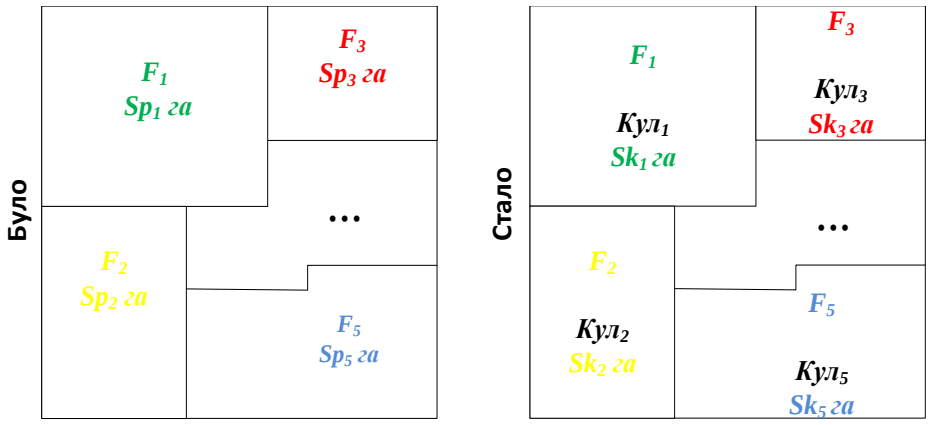


Рис. 1. Схема розміщення агрокультур на полях при першому варіанті: агрокультури і їх площі вирощування не змінюються і поля з їх площами також не змінюються.

Fig. 1. The scheme of placement of crops in the fields in the first option: crops and their growing areas do not change and the fields with their areas also do not change.

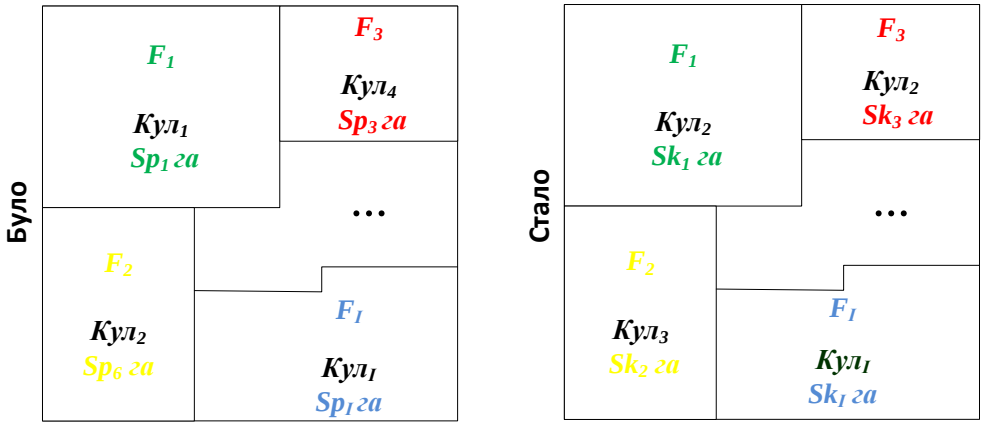


Рис. 2. Схема розміщення агрокультур на полях при другому варіанті: агрокультури не змінюються, а їх площі вирощування змінюються. Поля з їх площами не змінюються.

Fig. 2. The scheme of placement of crops in the fields in the second option: crops do not change, and their growing areas change. Fields with their areas do not change.

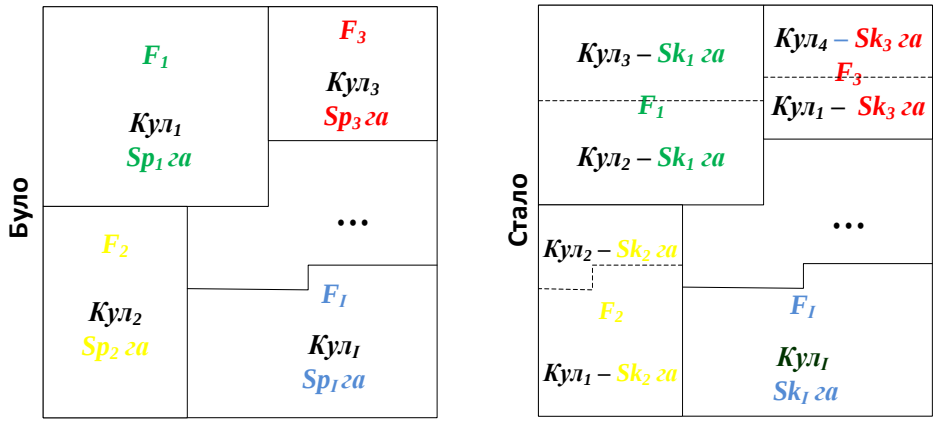


Рис. 3. Схема розміщення агрокультур на полях при третьому варіанті: агрокультури і їх площі змінюються. Поля з їх площами не змінюються

Fig. 3. The scheme of placement of crops in the fields in the third option: crops and their areas change. Fields with their areas do not change.

Попередник / Культура	$Кул_1$	$Кул_2$	$Кул_3$	…	$Кул_I$	Площа культур
$Кул_1$	x_{11}	x_{12}	x_{13}	…	x_{1J}	Sk_1
$Кул_2$	x_{21}	x_{22}	x_{23}	…	x_{2J}	Sk_2
$Кул_3$	x_{31}	x_{32}	x_{33}	…	x_{3J}	Sk_3
…	…	…	…	…	…	…
$Кул_I$	x_{I1}	$x_{ij\ I2}$	$x_{ij\ I3}$	…	x_{IJ}	Sk_I

Рис. 4. Матриця відношення культур до їх попередників.

Fig. 4. Matrix of relations of cultures to their predecessors.

Попередник / Культура	$Кул_1'$	$Кул_2'$	$Кул_3'$	…	$Кул_I'$	Площа культур
$Кул_1$	x_{11}	x_{12}	x_{13}	…	x_{1J}	Sk_1
$Кул_2$	x_{21}	x_{22}	x_{23}	…	x_{2J}	Sk_2
$Кул_3$	x_{31}	x_{32}	x_{33}	…	x_{3J}	Sk_3
…	…	…	…	…	…	…
$Кул_I$	x_{I1}	$x_{ij\ I2}$	$x_{ij\ I3}$	…	x_{IJ}	Sk_I
Площа культур попередника	Sp_1	Sp_2	Sp_3	…	Sp_I	

Рис. 5. Матриця відношення культур до їх попередників.

Fig. 5. Matrix of the relation of cultures to their predecessors.

Попередник / Культура	$Кул_1'$	$Кул_2'$	$Кул_3'$	…	$Кул_I'$	Площа культур
$Кул_1$	x_{11}	x_{12}	x_{13}	…	x_{1J}	Sk_1
$Кул_2$	x_{21}	x_{22}	x_{23}	…	x_{2J}	Sk_2
$Кул_4$	x_{31}	x_{32}	x_{33}	…	x_{3J}	Sk_4
…	…	…	…	…	…	…
$Кул_I$	x_{I1}	$x_{ij\ I2}$	$x_{ij\ I3}$	…	x_{IJ}	Sk_I
Площа культур попередника	Sp_1	Sp_2	Sp_3	…	Sp_I	

Рис. 6. Матриця відношення культур до їх попередників.
Fig. 6. Matrix of relations of cultures to their predecessors.

Агрокультури: назви $Кул_I$, їх кількість і площі вирощування Sk_I. Поля: номери полів F_I і їх площа Sp_I. Попередники з їх площами.

Необхідно створити математичну модель, яка описує процес вибору площ для вирощування запланованих агрокультур з Матриці полів з використанням існуючих полів або їх частин, відповідно до даних Матриці відношення культур для забезпечення запланованого обсягу виробництва продукції.

На вибрані площі необхідно внести живлення. Забезпечити поля відповідно до запланованого врожаю агрокультури можливо за рахунок внесення мінеральних добрив або за рахунок внесення органічних добрив.

Аналізуючи Базу полів господарства визначаються дані щодо вмісту азоту $Nв_{ij}$, фосфору $Pв_{ij}$, калію $Kв_{ij}$, на полі(ях), вибраних під культуру (із матриці Бази полів господарства) та нормами виносу добрив вибраними культурами (матриця Бази агрокультур) азоту $Nд_{ij}$, фосфору $Pд_{ij}$, калію $Kд_{ij}$. Реальне внесення NPK буде розраховується за формулами:

$$NPK_{ij}=k_N * Nд_{ij}+k_P * Pд_{ij}+k_K * Kд_{ij}, \quad (1)$$

де $N_д$, $P_д$, $K_д$ – дійсна норма винесення азоту, фосфору, калію агрокультурою, *кг/ц*; NPK_{ij} – загальна норма внесення мінеральних добрив, *т/га*; k_N, k_P, k_K – відповідно, коефіцієнти переводу норм внесення NPK у туки.

Тоді, коефіцієнт MD_{ij}, який враховує перерахунок норм винесення NPK у туки внесення становитиме:

$$MD_{ij}= NPK_{ij}/(Nд_{ij}+Pд_{ij}+Kд_{ij}). \quad (2)$$

Під час розв'язання задач існують випадки, коли задаються рекомендації щодо комбінованої схеми внесення живлення у ґрунт. Наприклад, у господарстві є можливість внесення органічних добрив, або внесення $N_д$, $P_д$, $K_д$ не в повній мірі покриває потреби рослин. У цьому випадку застосовується підхід з внесенням органічних добрив $O_д'_i$ на основі бонітету ґрунту $Бон_i$ за його типом $Тип_i$ (матриця Бази полів господарства). Бонітет ґрунту $Бон_i$ буде становити:

$$Бон_i = 20.1 \cdot Тип_i^{0.637}, \quad (3)$$

де $Бон_i$ – бонітет *і-го* поля; $Тип_i$ – номер типу ґрунту за бонітетом *і-го* поля (табл. 1).

Таким чином, для забезпечення відповідного врожаю U_i, норму органічних добрив визначають за залежністю:

$$Од_i = \frac{10*(U_i - Бон_i * Цб_i)*(Nд'_{ij} + Pд'_{ij} + Kд'_{ij})*MDij}{Бон_i}, \quad (5)$$

де $O_д'_i$ – норма внесення органічних добрив на *і-му* полі, *т/га*; U – врожайність агрокультури, *ц/га*; $Цб_i$ – ціна бонітету *і-го* поля.

За запланованою технологією господарства та конкретних умов, використовуючи матрицю Бази технологічних операцій, визначаються відповідні технологічні операції $ТО_{ijк}$ (k – тип операції) для забезпечення технологічного процесу вирощування кожної культури $Кул_{ij}$. У свою чергу, технологічний процес базується на пріоритетності технологічних операцій, а саме – основній, допоміжній та суміжній.

Таблиця 1. Бонітет ґрунтів за їх типом.
Table 1. Soil quality by their type.

№ типу	Тип ґрунту	Бонітет
1	дерново-підзолисті супіщані	15...25
2	дерново-підзолисті лескосуглинкові	26...35
3	дерново-середньопідзолисті	36...43
4	чорноземи типові малопотужні	44...54
5	чорноземи опідзолені легкосуглинкові	55...62
6	чорноземи типові	63...70
7	чорноземи звичайні потужні	71...72
8	чорноземи типові потужні	73...80
9	луко-чорноземи легкосуглинисті	81...82
10	чорноземи типові потужні середньосуглинкові	83...85
11	чорноземи типові потужні важкосуглинкові	86...90

Основними характеристиками (параметрами) технологічних операцій є: початок і тривалість виконання робіт, обсяг робіт, агротехнічні вимоги, відповідні робочі органи та швидкісні характеристики.

Дати початку і тривалість виконання механізованих технологічних операцій (рис. 7) повинні відповідати фазам росту і розвитку рослини.

Стосовно операцій лущення стерні та основного обробітку ґрунту (обробітку після попередника) виконуються зразу після попередника

Дата початку проведення посіву відповідає досягненням вимог стосовно: сумі температур, ФАР, вологості та типу ґрунту. Наприклад, посів кукурудзи проводять при прогріванні ґрунту до 10ºС, наявності вологи у ґрунті – 40%.

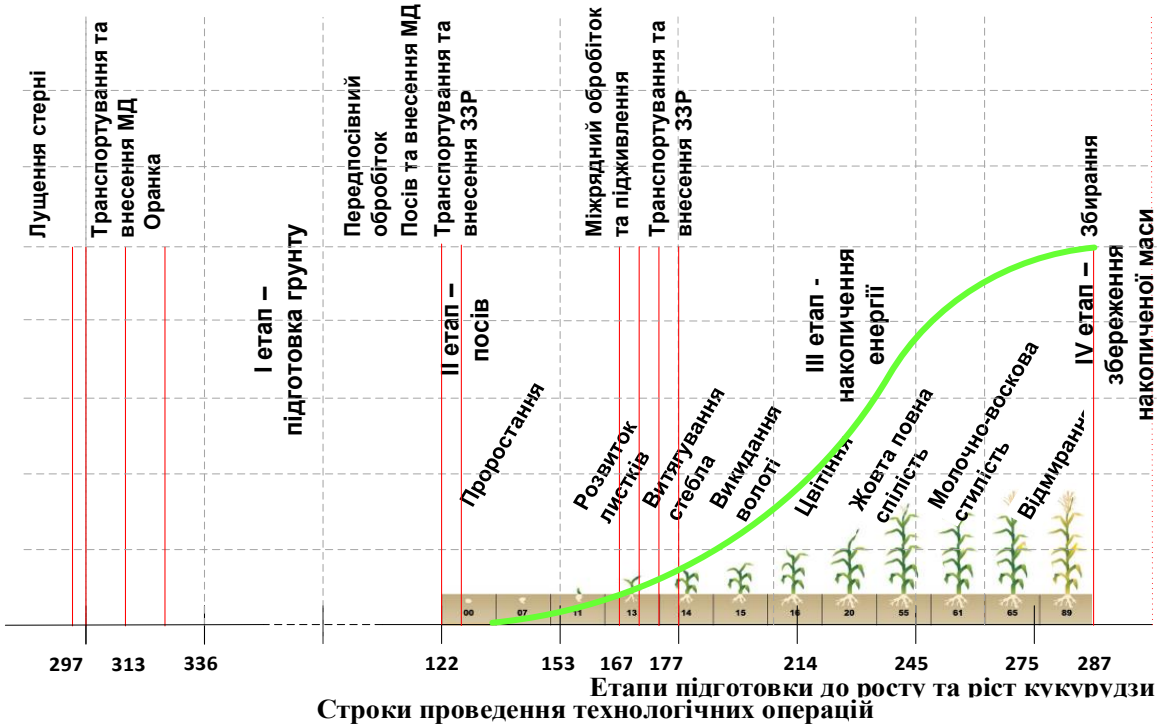


Рис. 7. Строки виконання основних механізованих технологічних операцій.
Fig. 7. Terms of execution of the main mechanized technological operations.

Строк початку виконання кожної технологічної операції може бути змінений у відповідності до зміни природно-кліматичних умов. Фактором впливу може бути зниження інтенсивності накопичення енергії: Зміна погодних умов (різке похолодання, аномальна жара, град, опади). Тривалість проведення технологічних операцій не повинно перебільшувати 24 годин в межах одного поля.

Обсяг робіт на кожній технологічній операції залежить від її виду та місця виконання [8].

Для механізованих операцій, які безпосередньо виконують роботу з ґрунтом, або з рослиною, рухаючись відповідним способом у загінці, обсяг робіт буде становити:

$$Q = S_{куу} \cdot \gamma_{ij} \ , \qquad (6)$$

де $S_{кул}$ – площа вирощування агрокультури $Кул_{ij}$, *га*; γ_{ij} – коефіцієнт, який враховує кратність виконання *і-ої* технологічної операції *j-го* різновиду $ТО_{ijк}$.

Для навантажувально-розвантажувальних операцій обсяг робіт дорівнює:

$$Q = S_{куу} \cdot H_{орм} \cdot \gamma_{ij} \ , \qquad (7)$$

де $H_{орм}$ – норма внесення добрив, засобів захисту рослин та інших робочий матеріалів, *т/га*.

Для транспортних операцій обсяг робіт дорівнює:

$$Q = S_{куу} \cdot \gamma_{ij} \cdot H_{ij} \cdot L_{ij} \ , \qquad (8)$$

де H_{ij} – урожайність, норма внесення, інші норми продукції, яка збирається або транспортується у залежності від виконуваної операції, т/га; L_{ij} – відстань перевезення вантажу, км.

Забезпечення умов виконання кожної механізованої технологічної операції при вирощуванні та збиранні агрокультур обумовлюється відповідними правилами та нормативами, які об'єднуються в агротехнічні вимоги.

Дотримання та виконання агротехнічних вимог оцінюється показниками якості їх виконання.

Показники якості виконання механізованих робіт діляться на дві частини:

– показники (з їх допусками), показники необхідного стану середовища і агрокультури та їх нормативи після виконання механізованих операцій;

– показники, що допускають регулювання робочих органів агромашин для забезпечення встановлених нормативів.

З метою якісного виконання технологічних операцій, аналізуючи мету та умови роботи майбутніх машинних агрегатів, вибирають відповідний тип робочих органів для визначеної технологічної операції за умови якісного виконання агротехнічних вимог.

Методика вибору робочих органів базується на технологічній операції *ТО* технології вирощування агрокультур *Кул* Робочий орган повинен повністю забезпечувати агровимоги *AR* на визначеному етапі та на конкретно визначеному полі *F*. Якість виконання механізованої технологічної операції робочим органом $k_{як\ i}$ повинна підтримувати якість попередніх та забезпечувати якість наступних технологічних операцій.

Набір обґрунтованих технологічних операцій з вибраними робочими органами ρ, які забезпечують виконання технологічних параметрів *ТР* з дотриманням агровимог *AR* (бази технологічних операцій (рис. 4)) визначають технологічний процес вирощування та збирання відповідної агрокультури. Аналогічно проводиться обґрунтування технологічних процесів для всіх запланованих до виробництва агрокультур.

Висновки

1. Розглянуто підходи до обґрунтування розміщення культур у структурі полів та обсягів виробництва для механізованих технологічних операцій, як складової структурно-логічної схеми розробки механізованого технологічного процесу. Обґрунтовано алгоритм розміщення агрокультур на полях, що має три варіанти вирішення в залежності від поставленої задачі у господарстві: агрокультури і їх площі вирощування не змінюються і поля з їх площами також не змінюються; агрокультури не змінюються, а їх площі вирощування змінюються, поля з їх площами не змінюються; агрокультури і їх площі змінюються, поля з їх площами не змінюються.

2. Визначені показники і досліджено їх вплив на кожну складову процесу вибору площ для вирощування запланованих агрокультур з матриці полів з використанням існуючих полів або їх частин, відповідно до даних матриці відношення культур для забезпечення запланованого обсягу виробництва продукції. Все перелічене буде використане при створенні математичної моделі, яка описує процес вибору площ для вирощування запланованих агрокультур з матриці полів з використанням існуючих полів або їх частин.

3. Розроблена методика вибору робочих органів, що базується на визначених технологічних операціях технології вирощування агрокультур.

Список літератури

1. *Пастухов В. І.* Якість механізованих технологічних операцій і біопотенціал польових культур: Наукові рекомендації для працівників механізованого рослинництва. Харків. Ранок 2002. 124 с.

2. *Сербий В. К.* Методика проектирования операционных технологий растениеводства на основе имитационной модели движения МТА с использованием геоданных: дис. канд. техн. наук. Мелитополь. 2011. 264 с.

3. *Шевченко С. А.* Концепція підвищення ефективності машиновикористання в рослинництві технічним обслуговуванням за станом: дис. докт. техн. наук. Харків. 2019. 486 с.

4. *Пастухов В. І.* Якість роботи сільгоспмашин і біопотенціал сільгоспкультур. Техніка АПК. 2001. № 5. С. 545–546.

5. *Сидорчук А. В., Демидюк Н. А., Сиваковская А. Н.* Методы решения задач управления проектами технического развития сельскохозяйственных товаропроизводителей. Електронний ресурс. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2015. Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntux_ctr_2015_2_10.

6. *Рублёв В. И.* Концептуальные принципы управления качеством сельскохозяйственной техники. Техніка АПК. 2005. № 12. С. 8–11.

7. *Мельник І. І., Гречкосій В. Д., Марченко В. В.* Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу: навчальний посібник. Київ. Видавничий центр НАУ. 2001. 48 с.

8. *Мельник І. І., Гречкосій В. Д., Бондар С. М.* Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу: навчальний посібник. Київ. Видавничий центр НАУ. 2004. 85 с.

References

1. *Pastukhov V. I.* (2002). Quality of mechanized technological operations and biopotential of field crops: Scientific recommendations for workers of mechanized crop production. Ranok. Kharkiv, Ukraine. 124 p.

2. *Serbiy V. K.* (2011). Methods of designing operating technologies of crop production on the basis of a simulation model of the movement of MTA using geodata (dissertation). Melitopol, Ukraine. 264 p.

3. *Shevchenko S. A.* (2019) The concept of improving the efficiency of machine use in crop production by maintenance (dissertation). Kharkiv, Ukraine. 486 p.

4. *Pastukhov V. I.* (2001) Quality of agricultural machinery and biopotential of agricultural crops. Agricultural machinery. Vol. 5. P. 545-546.

5. *Sidorchuk A. V., Demidyuk N. A., Sivakovskaya A. N.* (2015). Methods for solving the problems of project management for the technical development of agricultural producers. Newsletter of the National Technical University "KhPI". Strategic management, portfolio management, programs and projects. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntux_ctr_2015_2_10.

6. *Rublev V. I.* (2005). Conceptual principles of quality management of agricultural machinery. Technique AIC. 12. 8–11.

7. *Melnyk I. I., Grechkosiy V. D., Marchenko V. V.* (2001). Optimization of machine complexes and structure of machine park and planning of technical service. Tutorial. Kyiv., Ukraine. NAU Publishing Center.

8. *Melnyk I. I., Grechkosiy V. D., Bondar S. M.* (2004). Optimization of machine complexes and structure of machine park and planning of technical service. Tutorial. Kyiv, Ukraine. NAU Publishing Center.

ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ КУЛЬТУР В СТРУКТУРЕ ПОЛЕЙ И ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

В. Н. Зубко

Аннотация. Рассмотрены подходы к обоснованию размещения культур в структуре полей и объемов производства для механизированных технологических операций, как составляющей структурно-логической схемы разработки механизированного технологического процесса. Обоснованно алгоритм размещения агрокультур на полях, который имеет три варианта решения в зависимости от поставленной задачи в хозяйстве: агрокультуры и их площади выращивания не меняются и поля с их площадями также не изменяются; агрокультуры не меняются, а их площади выращивания меняются, поля с их площадями не изменяются; агрокультуры и их площади меняются,

поля с их площадями не изменяются.

Определены показатели и исследовано их влияние на каждую составляющую процесса выбора площадей для выращивания запланированных агрокультур из матрицы полей с использованием существующих полей или их частей, согласно данным матрицы отношение культур для обеспечения запланированного объема производства продукции.

Ключевые слова: агрокультура, поле, технологическая операция, условия выращивания, показатели качества.

JUSTIFICATION OF PLACING CULTURES IN STRUCTURE OF FIELDS AND VOLUMES OF PRODUCTION FOR MECHANIZED TECHNOLOGICAL OPERATIONS

V. N. Zubko

Abstract. The approaches to the justification of the distribution of crops in the structure of fields and production volumes for mechanized technological operations, as part of the structural-logical scheme of the development of a mechanized technological process, are considered. The algorithm for placing agricultural crops on fields is justified; it has three options for solving depending on the task in the farm: agricultural crops and their cultivation areas do not change and fields with their areas also do not change; agricultural crops do not change, and their cultivation areas change, fields with their areas do not change; agricultural crops and their areas are changing, fields with their areas are not changing.

Indicators are determined and their influence on each component of the process of selecting areas for growing planned agricultural crops from the field matrix using existing fields or their parts is studied, according to the matrix, the ratio of crops to ensure the planned volume of production.

Key words: agriculture, field, technological operation, growing conditions, quality indicators.

В. М. Зубко ORCID 0000-0002-2426-2772.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 115-124
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.115-124

УДК 62-192 : 631.3 : 658.589 (100)

НАДІЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ В СИСТЕМІ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ З ДОСВІДУ ЗАРУБІЖНИХ КОМПАНІЙ

А. В. Новицький, О. О. Банний

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: Novytskyy@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 31, рис. 3, табл. 0.

Анотація. Процеси глобалізації здійснюють значний вплив на ринок сільськогосподарської техніки. Товаровиробники аграрної продукції, сировини і продовольства формують систему специфічного споживчого попиту, задовольнити який виробники машинобудівної галузі можуть лише на основі науково-практичних підходів і досліджень. Ринок сільськогосподарської техніки в Україні вважається одним з перспективних у світі. Потенціал зростання попиту на сільськогосподарські машини та обладнання для тваринництва дуже високий. Це привертає до України велику кількість іноземних виробників. В останні десятиліття компанії Claas, John Deere та CNH є лідерами на українському ринку сільськогосподарської техніки.

Метою статті є підвищенні надійності сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів. Перспективним для забезпеченні ефективності тваринництва є використання техніки четвертого покоління – багатоопераційної, енерго- та ресурсоощадної. При скороченні виробництва і продажів вітчизняної сільськогосподарської техніки інтенсивно зростає імпорт зарубіжних аналогів машин та обладнання для приготування і роздавання кормів. Основою досліджень є використання сучасних тенденцій розвитку провідних світових виробників машин і технологічних комплексів. В останні десятиліття в тваринництві все більшого поширення набувають засоби для приготування і роздавання кормів (ЗПРК). Вказані засоби поєднують операції подрібнення, змішування, транспортування і дозованого роздавання кормів. Ці машини характеризуються простотою конструкції, мобільністю, економічністю. Для забезпечення ефективності і надійності використання сучасних ЗПРК потребують подальшого розвитку теоретичні дослідження оцінки та забезпечення надійності машин, вивчення впливу людини-оператора як складової складної технічної системи. Важливими є дослідження класифікації та підвищення довговічності робочих органів, формування системи якісного сервісного обслуговування.

Ключові слова: надійність, система, машина, техніка, інноваційні процеси, засіб для приготування і роздавання кормів.

Постановка проблеми

Ринок сільськогосподарської техніки в Україні вважається одним з перспективних у світі. Потенціал зростання попиту, як на трактори та комбайни, так і на сільськогосподарські машини та обладнання для тваринництва дуже високий, що привертає до України велику кількість іноземних виробників. Особливе значення при цьому відіграють процеси світової глобалізації, які вже значно реалізувалися в сільськогосподарському машинобудуванні шляхом консолідації галузі та появи кількох десятків великих та багатьох міжнародних компаній на ринку сільськогосподарської техніки.

Аналіз статистичної інформації показує, що сільське господарство нашої держави, особливо її матеріально-технічне забезпечення, знаходиться в глибокій технічній і технологічній кризі. Спостерігається значне скорочення парку тракторів, комбайнів, базових видів сільськогосподарської техніки, машин та обладнання тваринництва. В останні десятилітті в машинно-тракторному парку значну частку складають фізично зношені і морально застарілі машини. На фоні скорочення виробництва і продажів вітчизняної сільськогосподарської техніки інтенсивно зростає імпорт зарубіжних аналогів.

У цих умовах стає актуальною задача дослідження споживчого попиту аграрних підприємств на сільськогосподарську техніку і розробку методичних основ і науково-обґрунтованого комплексу пропозицій щодо розвитку ринку сільськогосподарської техніки в умовах глобалізації, забезпечення надійності сільськогосподарської техніки з досвіду зарубіжних компаній.

Аналіз останніх досліджень

Значний внесок у розв'язання вказаної проблеми внесли вчені багатьох вітчизняних науково-дослідних і навчальних установ. Серед них ННЦ «Інститут аграрної економіки», НУБіП України, ННЦ «ІМЕСГ», ХНТУСГ імені Петра Василенка, ПДАТУ, МДАТУ,

ХНАУ імені В. В. Докучаєва та багато інших. У наукових працях вчених розглянуто цілий ряд питань, серед яких:

- теоретичні основи функціонування й розвиток ринку технічних засобів для сільського господарства [9, 15];
- вплив ринку сільськогосподарської техніки на підвищення рівня техніко-технологічного забезпечення аграрного сектору в Україні [6, 8];
- ретроспектива оснащення сільськогосподарських підприємств окремих областей основними видами техніки та шляхи зміцнення їх технічної бази [18, 31];
- удосконалення структури машинно-тракторного парку з урахуванням загальносвітових тенденцій розвитку інноваційних технологій виробництва сільськогосподарської продукції [23. 24];
- формування основних напрямків оновлення та розвитку матеріально-технічних засобів розвитку аграрного виробництва [7, 15, 30].

Разом з тим, в умовах інтенсивного розвитку процесів глобалізації та у зв'язку з постійним розвитком науково-технологічного прогресу, вивчення питань ринку сільськогосподарської техніки потребує не лише нових досліджень та сучасних наукових підходів. В останні роки залишається актуальним формування напрямів забезпечення надійності машин та обладнання в системі інноваційних процесів із врахуванням досвіду зарубіжних компаній.

Для реалізації поставлених задач необхідно провести моніторинг забезпеченості технічним і технологічним обладнанням тваринницької галузі, особливо підкомплексу приготування і роздавання кормів. Тому, з'являється можливість скористатись інформаціє про зміст та функції моніторингу в різних галузях економіки, яка відображена в багатьох наукових дослідженнях [4, 18, 14] та матеріалах Державної служби статистики України [12, 25].

Важливо при цьому, як зазначається в багатьох наукових статтях [5, 21] проводити моніторинг інноваційної діяльності АПК України як виду інформаційної діяльності, в межах правого регулювання. Автори представлених статей вказують на необхідність проведення досліджень виходячи з аналізу та синтезу інформації щодо ефективності, конкурентоспроможності та надійності сільськогосподарської техніки провідних світових компаній [6, 8, 9, 15, 18, 23].

Мета досліджень

Мета досліджень полягає у підвищенні надійності сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів на основі використання сучасних тенденцій розвитку провідних світових виробників машин і технологічних комплексів.

Результати досліджень

Пропозицію на українському ринку сільськогосподарської техніки формують вітчизняні та іноземні виробники. Основними перевагами вітчизняної техніки є відносно невисока ціна, в порівнянні із зарубіжною технікою, доступність сервісного обслуговування, можливість самостійного технічного обслуговування і ремонту, протекціоністська політика держави. Основні конкурентні переваги сільськогосподарської техніки, яка вироблена в країнах далекого зарубіжжя – надійність і висока продуктивність.

Слід зазначити, що незважаючи на нетривалий період перебування світових транснаціональних компаній з виробництва сільськогосподарської техніки на вітчизняному ринку, ці компанії вже входять в десятку лідерів з виробництва тракторів і зернозбиральних комбайнів. Так, компанії Claas, John Deere та CNH є лідерами на українському ринку сільськогосподарської техніки.

Успішне і ефективне ведення молочного скотарства залежить не лише від наявного в агрофірмах та фермерських господарствах поголів'я худоби, ведення селекційно-племінної роботи, забезпеченості кормами, але й технічного та технологічного забезпечення машинами та обладнанням. Адже, практика вказує на те, що через порушення режиму годівлі та поїння продуктивність дійних корів знижується орієнтовно на 15%, а неякісно приготовані корми спричинюють захворювання тварин і зниження приростів на 10–15%. Ситуація, яка склалася в Україні у зв'язку з недостатнім рівнем забезпеченості сільськогосподарських підприємств, а також високим рівнем зношеності значної частини машин та обладнання для тваринництва, вимагає серйозного державного підходу до здійснення інвестування в модернізацію парку сільськогосподарської техніки та відповідної технічної політики.

В силу дії зазначених негативних факторів значний економічний потенціал галузі не використовується і на 50%, надзвичайно низькою залишається якість тваринницької сировини. На даний час потенційні можливості збільшення виробництва молока та яловичини в господарствах населення майже повністю вичерпані, фермерські господарства практично не займаються молочним скотарством. За таких умов лише комплексний системний підхід до вирішення існуючих проблем у скотарстві дасть змогу докорінно змінити ситуацію в цьому сегменті вітчизняного тваринництва в напрямі повного задоволення державних потреб.

Слід зазначити, що в аграрних підприємствах України всіх форм власності, поголів'я ВРХ зменшилась з 3884 тис. голів у 2014 році до 3333 тис. голів у 2018 році. Аналіз стану тваринницької галузі аграрних підприємств України вказує на те, що за останні п'ять років валовий надій молока від корів також знизився з 11133 тис. тон у 2014 році до 10064 тис. тон у 2018 році, тобто зменшення складає 9,6% [9]. В якості однієї з вагомих причин зниження вказаних показників виробництва молока, можна назвати матеріально-технічну забезпеченість галузі [12, 25].

Проведемо аналіз забезпечення аграрних підприємств України машинами і механізмами для приготування кормів. За даними Державного управління статистики, в Україні у 2014-2018 роках на озброєння тваринницьких підприємств, надійшла незначна кількість машин і механізмів для приготування кормів [12, 25].

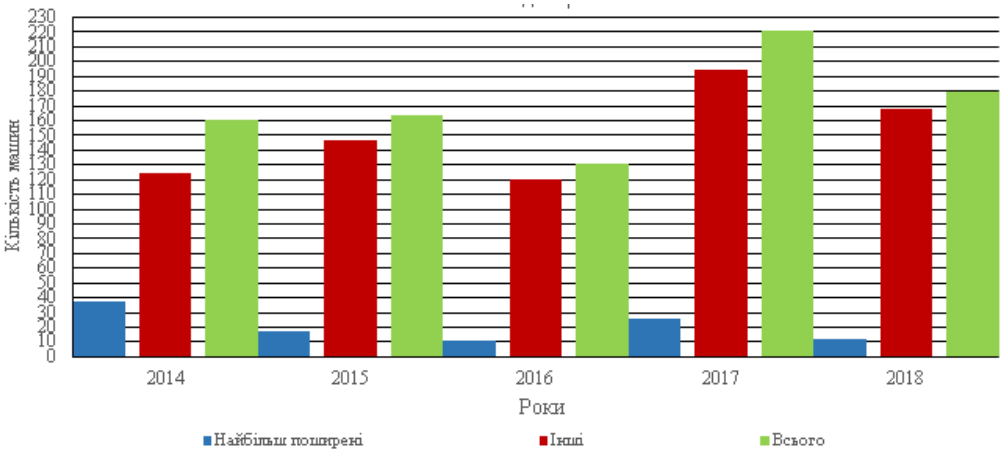


Рис. 1. Кількість машин і механізмів для приготування кормів, які надійшли на тваринницькі ферми протягом 2014–2018 рр. (визначена група найбільш поширених виробників).

Fig. 1. The number of machines and mechanisms for the preparation of feed, which came to livestock farms during 2014–2018 (a group of the most common producers).

Досліджуючи стан матеріально-технічного забезпечення тваринницької галузі за період з 2014 до 2018 року, можна сказати, що найбільша кількість машин і механізмів для приготування кормів надійшла на ферми у 2017 році і склала 221 машину. Разом з тим, у 2018 році кількість вказаних машин знизилась до 183 машин.

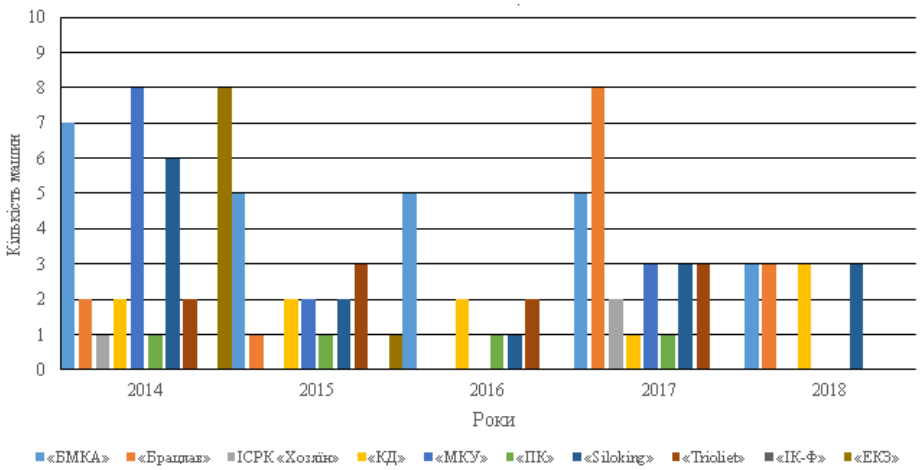


Рис. 2. Аналіз групи найбільш поширених виробників машин і механізмів для приготування кормів, які надійшли на тваринницькі ферми протягом 2014–2018 рр.

Fig. 2. Analysis of the group of the most common manufacturers of machines and mechanisms for the preparation of feed, which came to livestock farms during 2014–2018.

До групи найбільш поширених виробників машин і механізмів для приготування кормів входять як вітчизняні, так і зарубіжні заводи та компанії сільськогосподарського машинобудування. Серед них блок-модуль комбікормовий БМКА-1,5 (виробництва ПАТ «Новоград-Волинськсільмаш») призначений для виготовлення на зерноскладах малих фермерських господарствах розсипних комбікормових сумішей, які складаються з подрібненого фуражного зерна, добавок, а також премікси промислового виробництва. Серед іншого обладнання ПАТ «Новоград-Волинськсільмаш», яке кожного року надходить в аграрні підприємства для приготування комбікормів є безрешітна кормодробарка КД-4-03 (ДМ-Ф-4). Вона використовується як самостійний агрегат для подрібнення фуражного зерна для всіх видів і вікових груп тварин, обладнана завантажувальним і вивантажним конвеєрами, шафою керування. Установка міні комбікормова МК-0,5 (виробництва ВАТ «Хорольський механічний завод») призначена для отримання комбікормових сумішей, які складаються з меленого фуражного зерна та добавок, а також премікси промислового виробництва на малих фермах. Установка МК-0,5 до свого складу включає крім дробарки, циклона-дозатор, змішувач, апаратуру керування та захисту, тензометричний ваговий пристрій, який дає можливість зважувати кожну порцію корму.

Крім машин та обладнання, яке використовується для приготування комбікормів та подрібнення фуражного зерна, особливу групу складають засоби для приготування і роздавання кормів (ЗПРК). В останні десятиліття в тваринництві України, як і загалом у світовій

практиці, дедалі більшого поширення набувають комбіновані транспортно-технологічні агрегати для приготування кормів [3, 7, 11], які поєднують операції подрібнення і змішування, доправлення і дозованого роздавання кормів. Вказані агрегати характеризуються не лише простотою конструкції та мобільністю, але й економічністю, тому викликають значну зацікавленість у спеціалістів аграрних підприємств із розвиненим тваринництвом різних форм власності. Іншою важливою причиною є те, що одним з найбільш перспективних і прогресивних шляхів підвищення продуктивності тварин, є застосування багатокомпонентних кормових раціонів, а найбільшої ефективності кормових ресурсів можна домогтися. Кормові суміші з різних компонентів готують за допомогою ЗПРК, включаючи «Siloking», «Trioliet», «Брацлав», ІСРК «Хозяїн», які складають значну частину машин та обладнання для приготування кормів. Особливий позитив створює інформація про те, що серед великої кількості моделей машин, які отримали аграрні підприємства України в останні роки, найбільшу групу складають вітчизняні засоби для приготування і роздавання кормів «Брацлав», виробництво яких налагоджене в м. Брацлав, Вінницької області.

Але, як зазначено в статистичних бюлетенях Державної служби статистики України, за період з 2014 до 2018 року сумарна кількість машин і механізмів для приготування кормів для тварин збільшилась з 3574 тис. штук у 2014 році до 4117 штук у 2016 році, а потім зменшення до 4048 штук у 2018 році [12, 25]. Аналіз наявного в аграрних підприємствах різних форм власності України парк машин і механізмів для приготування кормів приведено на рис. 3.

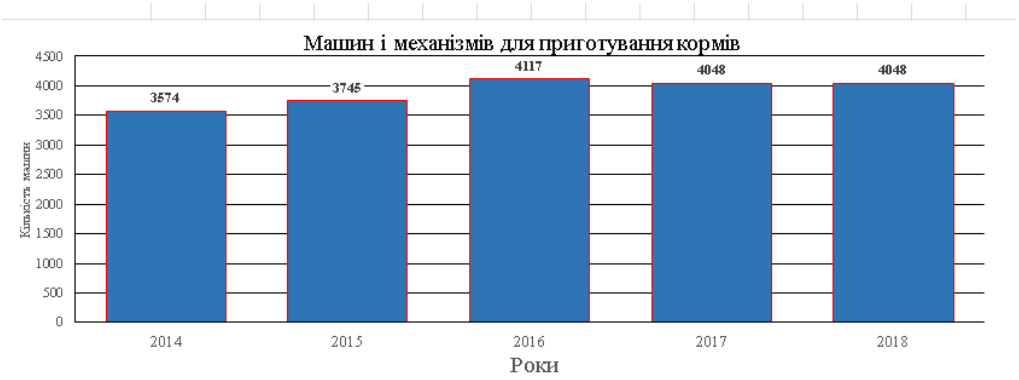


Рис. 3. Наявний протягом 2014–2018 рр. парк машин і механізмів для приготування кормів.
Fig. 3. The fleet of machines and mechanisms for feed preparation available during 2014–2018.

Як показують дослідження, удосконалення сільськогосподарської техніки, включаючи засоби для приготування і роздавання кормів, світовими виробниками в сучасних умовах здійснюється за наступними напрямками: випуск багатофункціональних ЗПРК; покращення конструктивно-технологічних властивостей для забезпечення зоотехнічних вимог; підвищення довговічності робочих органів; розширення можливостей електроніки в контролі технічного стану та управлінні технологічними процесами машини.

Проведемо аналіз досвіду зарубіжних компаній щодо підвищення ефективності використання ЗПРК: модельних рядів, особливостей їх конструкції, характерних параметрів, заходів для забезпечення надійності. Аналіз розпочнемо з тих виробників та ЗПРК, які найбільше купують українські аграрії [7, 11, 14, 26].

Серед відомих виробників ЗПРК слід назвати німецьку компанію «Siloking», яка декларує широкий типорозмірний ряд змішувачів-кормороздавачів з різним об'ємом бункерів. Для малих аграрних підприємств із поголів'ям від 10 до 35 тварин компанія «Siloking» пропонує агрегати моделі Smart, моделі Kompakt рекомендовані для 30–90 тварин, машини типу Premium – для ферм, що утримують від 40 до 120 голів. Слід звернути увагу, що в останні роки компанія «Siloking» розпочала виробництво 11 модельних рядів стаціонарних та причіпних машин з об'ємом бункерів від 3 до 80 м^3 та внесла понад 200 додаткових опцій і конструктивних змін до їх конструкції [7]. Вказані інновації дають можливість підібрати оптимальну машину для будь-якої тваринницької ферми, враховуючи поголів'я та напрям виробничої діяльності. Міцна і стійка проти деформацій несуча рама цих машин має інтегровану, спеціально розроблену систему зважування, а датчики зважування, які розташовані на спеціальних траверсах, гарантують точне визначення ваги корму. Це є однією з умов для ідеальної годівлі тварин при використанні змішувача-роздавача в технологіях точного тваринництва. Щодо інших позитивних сторін, слід сказати, що бункер засобу має, зносостійку пластину на днищі і ребристі стінки, а спеціальне кільце, приварене по всьому периметру бункера, надає конструкції жорсткості та забезпечує її довговічність. Перераховані особливості конструкції підтримують узгоджену роботу турбошнека і бункера, підвищують надійність ЗПРК в цілому.

Іншою міжнародною компанія з виробництва ЗПРК є «Trioliet» (Нідерланди), яка виготовляє широкий модельний ряд змішувачів-кормороздавачів Solomix із одним, двома і трьома вертикальними шнеками з об'ємом бункера, відповідно, 5–14 м^3, 10–32 м^3 і 30–46 м^3. Особливістю конструкції змішувачів-кормороздавачів компанії «Trioliet» є те, що шнеки опираються на радіально-упорні роликові підшипники, якими утримуються від радіального та осьового зміщення, а це дозволяє значно підвищити довговічність механізму подрібнення-змішування ЗПРК. Запропоно-

вана заводом-виробником оригінальна система мащення підшипників механізму шнеку забезпечує низькі експлуатаційні витрати і мінімальне зношування деталей. Складові кормів подрібнюється ножами і протирізальними пластинами, що забезпечує високу якість і відповідну консистенцію кормової суміші, згідно зоотехнічних вимог. Регулювати пластини можна вручну або ж за допомогою гідравлічної системи змішувача-кормороздавача. Інша нідерландська фірма «Peecon», крім звичайних вертикальних кормозмішувачів (місткістю до 15 м^3), випускає машини місткістю від 15 до 45 м^3 з двома вертикальними робочими органами, а при місткості кузова до 60 м^3 ці машини можуть бути оснащені і 4 вертикальними шнеками для змішування.

Відома європейська фірма «Strautmann» («Німеччина») постачає два види кормороздавачів-змішувачів: Verti-Mix з одним вертикальним змішувальним шнеком і Verti-Mix Double – із двома. Бункер цих машин виготовлений із нержавіючої сталі, а його кругла форма забезпечує не лише швидке перемішуванню, але й підвищує його зносо- та корозійну стійкість. Виходячи з технологій годівлі, завод-виробник ЗПРК може встановлювати на бункері пристрій для дозування кормових добавок. Іншою важливою складовою кожного засобу є механізм подрібнення-змішування та змішувальний шнек. Нові моделі Verti-Mix можуть бути оснащені новим, підсиленим Vario шнеком, ресурс якого значно вищий у порівнянні із серійним, що дуже важливо для інтенсивної експлуатації кормозмішувача-роздавача. Опора шнеків кормозмішувача-роздавача складається з корпуса з кованим валом привода і конічними роликовими підшипниками, які автоматично перебирають на себе осьові зусилля шнека. Особливість будови механізму подрібнення-змішування вказаних агрегатів полягає у розробленій фірмою «Strautmann» конструкції змішувального шнека Vario із серповидними ножами, положення яких можна регулювати.

Фірма «Kuhn» (Франція) пропонує широкий спектр техніки для тваринництва, включаючи й змішувачі-кормороздавачі з одним або ж двома вертикальними шнеками Euromix I серій 70 і 80 [7]. В Україні використовуються машини Euromix I серії 70 з одним шнеком, що мають об'єм бункера від 8 до 12 м^3, та машини з двома шнеками – від 16 до 27 м^3. Компанія «Kuhn» в конструкціях змішувачів-кормороздавачів запропонувала систему зважування, яка забезпечує високу точність під час роботи з грубими кормами та всіма інгредієнтами. Для точного зважування використані вертикальні шнеки, оснащені трьома датчиками, що розміщені у формі трикутника для оптимального розподілу навантаження. Товщина витка шнека змішувача-кормороздавача Euromix становить 15 мм, що забезпечує його максимальну зносостійкість. Шнеки обладнані ножами з асиметричними зубами для забезпечення самоочищення [7]. Розмір подрібнення кормів можна змінювати регулюванням положення протирізальних пластин вручну або за допомогою гідравлічної системи ЗПРК.

Починаючи з 2000 р в Республіці Білорусь розпочато випуск подрібнювача-змішувача-роздавача кормів ИСРК-12 [24], який забезпечує приготування кормових сумішей з 10 компонентів: рулонів довговолокнистого сіна, соломи, силосу, коренеплодів, комбікорми і т.д. Основними робочими органами подрібнювача-змішувача-роздавача кормів є два шнеки з ножами, що обертаються протилежно.

Доцільно згадати напівпричіпні кормозмішувачі з вертикальними робочими органами, що випускають фірми «Nutrifeed» та «BvL» (Німеччина). Фірма «Strautmann» (Німеччина) спеціально розробила новий напівпричіпний вертикальний кормозмішувач «Verti-Mix 750», габаритні розміри якого (ширина - 2,14 м, висота - 2,35 м) дозволяють його використовувати в старих тваринницьких приміщеннях з вузькими і низькими кормовими проїздами.

Аналіз проспектів та літературних джерел показує, що на великих тваринницьких фермах Німеччини, перспективним є використання самохідних кормозмішувачів. Це також підтверджує і аналіз ринку техніки для приготування і роздавання кормів. Так, останнім часом, обсяг реалізації самохідних кормозмішувачів в Німеччині досяг 10%, і вже намітилася стійка тенденція до збільшення цієї частки. Самохідні змішувачі-кормозмішувачі виконують всі операції, які передбачені технологією приготування і роздавання повністю збалансованих кормів. Вони випускаються як з вертикально встановленим робочим органом, так і з горизонтальними змішувальними пристроями.

Знайшли своє застосування самохідні вертикальні кормозмішувачі, самозавантаження яких здійснюється шляхом фрезерування корму з бурту. Їх випускають фірми «Tatoma» (Італія) – модель MVS-18, «Fricke» (Німеччина), «Seko» (Італія) модель «Taureg VMS». Фрезерні робочі органи для самозавантаження застосовуються і в конструкціях самохідних кормозмішувачів фірм «Marmix» і «Sgariboldi», але їх подрібнювально-змішувальні пристрої виконані у вигляді горизонтальних 3-шнекових робочих органів і, відповідно, одного горизонтального шнекового вала [24].

Важливою складовою ефективного використання ЗПРК є дослідження робочих органів механізмів подрібнення-змішування. Для розширення функціональних можливостей змішувачів-кормороздавачів в дисертаційній роботі [3] обґрунтовано розміщення по зовнішньому краю гвинтової лінії шнеків встановлення ножі різної форми, а для підвищення ефективності подрібнення грубих кормів на днищі або стінках бункера – протирізів. Ножі можуть бути виготовлені у вигляді пластин з заточеною робочою гранню. Робочі грані ножів виконують прямолінійної або криволінійної форми із зубчатою насічкою або без неї. Ножі з прямолінійним лезом прості у виготовленні, але ножі з криволінійним лезом і зубчатою насічкою більш міцні і зменшують вірогідність попадання сторонніх предметів в зону подрібнення. Автор досліджень [3] зазначає, що вказані ножі ефективніше подрібнюють корми, а на їх привід при цьому витрачається менша потужність.

Особливий інтерес представляють ножі, які встановлені на шнеках змішувача-роздавача фірми «SEKO». Ножі зіркоподібної форми шарнірно закріплені на гвинтовій лінії шнека і обертаються щодо осі кріплення під час роботи, тим самим досягається гви-

сока якість подрібнення. Протирізи можуть бути виконані у вигляді встановлених на стінці і днищі бункера молотків («Tatoma», Labrador фірми «Storti») або лез (Optimix фірми «Alfa Laval Agri»). Для ЗПРК з двома шнеками, в якості протирізу використовують встановлену між робочими органами пластину з прорізами (Euromix II фірми «KUHN» і KD 612-2 фірми «Kverneland») або зубчасту гребінку (Samuray 3 фірми «Seko»).

Зміна кута встановлення ножа змішувача-кормороздавача може здійснюватись гайками, які фіксують його положення на шнеку [3]. Для отримання оптимального результату при подрібненні та перемішуванні, в бункерах ЗПРК [3], як і в інших змішувачах-кормороздавачах можуть бути встановлені протиріжучі пластини з ручним або гідравлічним приводом. Зміна положення протиріжучих пластин в бункері здійснюється в залежності від компонентів кормів. Їх наявність і можливість регулювання покращує процес подрібнення складових кормів і запобігає «прокручуванню» матеріалів, що подрібнюються та змішуються. Саме в інструкціях на експлуатацію вказується, що надійна робота ЗПРК забезпечується використанням в механізмах подрібнення - змішування ножів, які виготовлених зі сталі St 70 і багатошарових ножів, які можуть встановлюватися в три можливих положення.

Важливим при виборі ЗПРК є можливість забезпечення їх надійності при втраті працездатності. Аналіз багатьох інструкцій з експлуатації та обслуговування ЗПРК показує, що ножі шнека можуть бути заточені з використанням шліфувальної машини, але якісне відновлення ножів рекомендується проводити в умовах ремонтних майстерень обладнанням для заточування або шліфування [3, 17, 19]. Якщо ріжуча край ножа не надщерблена, то відновлення полягає в заточуванні поверхні ножа з допомогою шліфувального каменю невеликої зернистості. Процес відновлення найкраще проводити за допомогою шліфувального каменю спеціальної форми забезпечуючи відповідний кут заточки. Під час заточування окремі фірми вказують на необхідність інтенсивного охолодження ножа. Слід звернути увагу на те, що тільки в інструкції [14] рекомендується забезпечувати товщину ріжучої крайки і кут заточування ножів 9° механізму подрібнення-змішування ЗПРК.

Аналіз технічних даних зарубіжних змішувачів-кормороздавачів показав, що по місткості і габаритних розмірах основна гамма обладнання цілком може використовуватися на типових фермах нашої країни. Разом з тим, конструктивне виконання пристроїв для вивантаження кормів не дозволяє застосовувати більшість ЗПРК на наших фермах, оскільки вони призначені для вивантаження кормової суміші на «кормовий стіл», який використовується замість годівниці на більшості зарубіжних ферм. Незважаючи на то, що практично всі ЗПРК обладнані регульованими за висотою вивантажувальними транспортерами, це все одно не дозволить забезпечити вивантаження кормових сумішей в годівниці на наших фермах (висота годівниці - 700 мм). Як показує аналіз, за кордоном, в основному, використовуються кормові столи, тому висоти видачі у роздавальників-змішувачів в межах 400 мм цілком достатньо.

Одним із шляхів швидкого вирішення проблеми постачання вітчизняних товаровиробників тваринницької продукції вказаною технікою є створення спільних виробництв або випуск змішувачів-кормороздавачів за ліцензією провідних західних фірм, які вже адаптовані до наших умов [24]. Такий досвід є в Республіці Білорусь, де підприємство «Запенергомаш» за ліцензією італійської фірми «Marmix» освоїло виробництво напівпричіпного кормозмішувача місткістю 12 м^3. Його змішувальний пристрій складається з двох шнеків з ножами, що обертаються назустріч один одному, а електронна система зважування забезпечує приготування 10 різних рецептів корму з 10 компонентів. В той же час, максимальна висота вивантаження кормової суміші не перевищує до 0,6 м, що обмежує сферу використання вказаної спільної розробки кормозмішувача лише тільки тваринницькими фермами, де застосовується «кормовий стіл» або ж на відгодівельних майданчиках без годівниць.

Слід зазначити, що в технологічному плані, перераховані конструктивні зміни механізмів ЗПРК різних заводів-виробників забезпечують не лише скорочення часу приготування кормової суміші, але й оптимальне змішування компонентів корму та зберігання їх структури.

З метою покращення та стимулювання розвитку тваринництва було прийнято понад десять різних нормативно-правових актів, серед яких слід згадати Закон України «Про племінну справу у тваринництві», постанову Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для розвитку тваринництва», національний проект «Відроджене скотарство» тощо. Разом з тим, складність і гострота ситуації в молочній галузі вимагає подальшого пошуку шляхів активізації інноваційних процесів. Серед основних напрямків активізації інноваційних процесів є наступні: нарощування поголів'я ВРХ, його продуктивності та валових обсягів виробництва; технічне та технологічне переоснащення галузі; формування організаційно-економічних, технологічних та нормативно-правових засад його впровадження; забезпечення кормової бази; науковий супровід реалізації проектів.

В останні десятиліття в Україні і країнах ближнього зарубіжжя в науково-практичних дослідження визначилися наступні напрями робіт для забезпечення ефективності використання сучасних ЗПРК:

- теоретичні дослідження процесів подрібнення, змішування, дозування і транспортування кормів [4, 10, 11, 31];
- технологічні та технічні передумови приготування кормів та використання ЗПРК [27, 29, 31];
- теоретичні дослідження оцінки та забезпечення надійності ЗПРК як складних технічних систем «Людина-Машин», «Людина-Машина-Середовище» [1, 2, 22];
- науково-практичні дослідження класифікації та підвищення довговічності робочих органів ЗПРК [3, 20];
- дослідження споживчих якостей та оцінка впливу існуючих елементів дизайну ЗПРК на забезпечення якості кормових сумішей [21, 28].

Висновки

1. Поряд з представленими важливими напрямами, ще недостатньо досліджень, які були б направлені на вирішення комплексної проблеми забезпечення надійності машин на протязі всіх життєвих циклів, включаючи проектування, виготовлення, експлуатація, технічне обслуговування, ремонт, зберігання, утилізація, які обумовлені недосконалістю складових «людина-оператор» та «машина».

2. Таким чином, нами уточнено стан надходження машин і механізмів для приготування кормів для молочного скотарства України за останні п'ять років. Цікавими і важливими в цьому напрямку могли б бути дослідження, які направлені на забезпечення надійності машин і механізмів для приготування кормів та покращення діяльності підприємств технічного сервісу для їх обслуговування.

3. Пріоритетним напрямом залишається створення і впровадження у виробництво багатофункціональних високопродуктивних комплексів машин і обладнання.

4. Переорієнтація галузі сільськогосподарського машинобудування на використання техніки четвертого покоління – мультиопераційної, енерго- та ресурсоощадної, що дозволяло б забезпечити збереження та відродження біологічної та екологічної рівновагу в природі.

5. Використання бортових комп'ютерів з відповідними програмним забезпеченням для контролю за роботою усіх систем машин, що дозволяло б підтримувати високі техніко-технологічні показники при їх експлуатації згідно із зоотехнічними та агротехнічними вимогами.

6. Використання багаторічного досвіду провідних іноземних виробників сільськогосподарської техніки у забезпеченні надійності машин та обладнання, формування системи якісного сервісного обслуговування.

Список літератури

1. *Boyko A., Novitskiy A.* Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. vol. 9. no. 3. 271. p. 165–174.

2. *Novitskiy A., Karabinhosh S.* Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106–121.

3. *Andriy Novitskiy.* Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture.* 2017. Vol. 19. No 3. 123–128.

4. *Pylypaka S. F., Klendii M. B., Trokhaniak V. I., Pastushenko A. S., Novitskiy A. V.* Movement of a material particle on an inclined plane all the points of which describe circles in oscillatory motion in the same plane. *Bulletin of the Karaganda University.* Mathematics Series. №1(97)/2020. Karaganda, 2020. P. 122–131.

5. *Большаков В. Н., Роговський І. Л.* Необхідність моніторингу в інноваційній діяльності АПК України в межах правого регулювання. Науковий вісник НУБіПУ. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2013. Вип. 185, ч. 2. С. 384–390.

6. *Витвицька О. Д., Даценко М. С., Даценко С. М.* Розвиток ринку сільськогосподарської техніки. *Економіка АПК*. 2010. №10. С. 103–108.

7. *Гузь М., Марченко В.* Техніка для приготування й роздавання кормів. *Журнал Agroexpert.* 2017. №1(66). https://agroexpert.ua/tehnika-dla-prigotuvanna-i-rozdavanna-kormiv.

8. *Захарчук О. В.* Технічне забезпечення сільськогосподарських підприємств в Україні. *Економіка АПК*. 2019. №2. С. 48–56.

9. *Іванишин В. В.* Розвиток та функціонування ринку технічних засобів для сільського господарства в Україні. *Економіка АПК.* 2011. №3. С. 78–82.

10. *Кісільов Р. В.* Обґрунтування параметрів і режимів роботи робочих органів лопатевого змішувача кормів : дис. … на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук. 05.05.11. *Кіровоград : КНТУ*. 2013. 184 с.

11. *Костенко В. І., Заболотько О. О., Хмельовський В.* С. Ефективність використання комбінованих транспортно-технологічних засобів для годівлі ВРХ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК.* Київ. 2015. Вип. 212/2. С. 115–122.

12. Купівля матеріально-технічних ресурсів для виробничих потреб сільськогосподарськими підприємствами. *Статистичний бюлетень*. Київ. (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 роки).

13. *Ловейкін В. С., Хмельовський В. С., Гудова А. В.* Підвищення ефективності роботи мобільних змішувачів-роздавачів кормів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація і автоматизація виробничих процесів*. Суми. 2016. Вип. 10/2 (30). С. 107–111.

14. Мобильный раздатчик кормов VMP-10 T015. Инструкция по обслуживанию. 78 с.

15. *Науменко А. О., Тимчук Д. С., Науменко О. А.* Дослідження потреби в оснащенні АПВ обладнанням для тваринництва. *Machinery & Energetics. Journal of Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10, No. 1, 101–106.

16. *Немчанинов В. В.* Обоснование параметров работы мобильного измельчителя-смесителя-раздатчика кормов в режиме измельчения : диссертация ... канд.. техн. наук : 05.20.01. Киров. 2003. 146 с.

17. *Новицький А. В.* Метод оцінки роботоздатності кормоподрібнюючих машин. *Механізація сільськогосподарського виробництва.* Київ. НАУ. 1998. Т. IV. С. 63–68.

18. *Новицкий А. В., Думенко К. Н.* Исследование надёжности системы «человек-машина» при условии развития составляющей «человек-оператор». *Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture.* Lublin. 2014. Vol. 16. № 2. P. 117–121.

19. *Новицький А. В., Засунько А. А., Хмельовська С. З.* Оцінка та підвищення рівня надійності ножів засобів для приготування і роздавання кормів. *Збірник тез доповідей VII Міжнар. наук. конф. «Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК» в рам-*

ках роботи XXXI Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2019» (04-07 червня 2019 року). НУБіПУ. Київ. 2019. С. 82-83.

20. *Новицький А. В., Новицький Ю. А.* Класифікація робочих органів типу «ніж» засобів для приготування і роздавання кормів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. Київ. 2017. Вип. 262. С. 287–296.

21. *Новицький А. В., Новицький Ю. А.* Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК.* Київ. 2017. Вип. 264. С. 293–303.

22. *Новицький А. В., Ружило З. В.* Визначення функції готовності систем «людина – машина» при зростанні інтенсивностей відмов. *Machinery & energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukraine.* 2019. Vol. 10. No. 2. P. 89-96.

23. *Петров В. М.* Виробнича та ринкова політика провідних світових виробників сільськогосподарської техніки. *Економіка АПК.* 2013. №12. С. 63–70.

24. *Сидоров В. Н.* Резервы повышения экономической эффективности мясного скотоводства на основе применения оптимальных технологических параметров приготовления полнорационных кормовых смесей. *Вестник ВНИИМЖ. Ежеквартальный научный журнал. Механизация, автоматизация и машинные технологии в животноводстве.* №2(6)-2012. С. 185–194.

25. Сільське господарство України. *Статистичний збірник.* 2018 рік. Київ. 2019. 482 с.

26. Смеситель-кормораздатчик «Cormorant». Руководство по эксплуатации и каталог запасных частей. 43 с.

27. *Хмельовський В. С.* Дизайн – важливий аргумент при виборі засобів для приготування і роздавання кормів на фермах ВРХ. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки.* 2012. Вип. 11. Т. 2. С. 286–289.

28. *Шацкий В. В.* Концепция и методология совершенствования биотехнической системы животноводства. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* Харків. 2016. Вип. 157. С.111-118.

29. *Шацкий В. В., Тисличенко А. С., Коломиец С. М.* Математическое моделирование динамичности структуры смеси сыпучих материалов. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* 2014. Харків. Вип. 144. С. 165–174.

30. *Шебанін В. С.* Державна технічна політика у контексті оновлення і розвитку матеріально-технічних засобів аграрного виробництва в Україні. *Економіка АПК.* 2004. №1. С. 12–15.

31. *Шленський О. Б., Грицун О. А., Грицун А. В.* Тенденції використання мобільних подрібнювачів-роздавачів стеблових кормів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія технічні науки.* Вінниця. 2013. Вип. 12 (75). С. 48–55.

References

1. *Boyko A., Novitskiy A.* (2018). Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. Machinery & energetics. Kyiv. Ukraine. vol. 9. no. 3. 271. p. 165–174.

2. *Novitskiy A., Karabinhosh S.* (2018). Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106–121.

3. *Andriy Novitskiy*. (2017). Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 19. No 3. 123–128.

4. *Pylypaka S. F., Klendii M. B., Trokhaniak V. I., Pastushenko A. S., Novitskiy A. V.* (2020). Movement of a material particle on an inclined plane all the points of which describe circles in oscillatory motion in the same plane. *Bulletin of the Karaganda University.* Mathematics Series. №1(97)/2020. Karaganda. P. 122–131.

5. *Bolshakov V. N., Rogovskii I. L.* (2013). Was gidnist monitoring of innovative activity of agrarian and industrial complex of Ukraine in the framework of legal regulation. Scientific Bulletin Nubip. Series: technology and energy agriculture. Kyiv. Vol. 185, part 2. P. 384-390.

6. *Vitvitskaya E. D., Datsenko N. S., Datsenko S. M.* (2010). Development of the market of agricultural machinery. EKO-Ekonomika APK. 2010. №10. P. 103-108.

7. *Guz N., Marchenko V.* (2017). Technology of DLing and feeding. Magazine Agroexpert. No. 1(66). https://agroexpert.ua/tehnika-dla-prigotuvanna-i-rozdavanna-kormiv.

8. *Zakharchuk V. A.* (2019). Technical support satkogosowski enterprises in Ukraine. Ekonomika APK. No. 2. P. 48-56.

9. *Ivanishin V. V.* (2011). Development and functioning of the market of technical means for agriculture in Ukraine. Ekonomika APK. 2011. №3. P. 78-82.

10. *Kiselev G. V.* (2013). Substantiation of parameters and re-presses the working bodies of the paddle mixer feed : dis. ... for the degree of Sciences. the degree candidate. tech. SC. 05.05.11. Kirovograd : KNTU. 184.

11. *Kostenko V. I., Zabolotko A. A., Khmelovskii V. S.* (2015). Efficiency of combined transport-technological means for feeding of cattle. Scientific Bulletin of National University of BioR-resources and nature management of Ukraine. Series: technology and energy APK. Kyiv. Vol. 212/2. P. 115-122.

12. Purchase material and technical resources for industrial needs of agricultural enterprises. Statistical Bulletin. Kyiv. (2014, 2015, 2016, 2017, 2018 of the year).

13. *Loveikin V. S., Khmelevskii V. S., Gudova A. V.* (2016). Increase of efficiency of mobile mix-teley-feed dispensers. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: mechanization and automation of production processes. Amount. Vol. 10/2 (30). P. 107-111.

14. Mobile feed distributor VMP-10 T015. Service manual. 78 p.

15. *Naumenko A. A. Tymchuk D. S., Naumenko A. A.* (2019). Research needs in equipment APV equipment for livestock. Machinery & Energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10. No. 1. P. 101-106.

16. *Nemchaninov V. V.* (2003). Substantiation of parameters of operation of a mobile grinder-mixer-dispenser feed mode grinding : thesis ... Cand.. SC. Sciences : 05.20.01. Kirov. 146 p.

17. *Novitskyi A. V.* (1998). Method of estimation robotstar-ness korepodobnaya machines. Mechanization of agricultural production. Kyiv. NAU. T. IV. P. 63-68.

18. *Novitsky A. V., Dumenko K. N.* (2014). Investigation of the reliability of the system "man-machine" with the development of the component "human operator". Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. Lublin. Vol. 16. No. 2. P. 117-121.

19. *Novitskyi A.V., Zasunko A. A., Khmelevskaya S. Z.* (2019). Assessing and improving the trust level of knives for the governmental funds for the preparation and distribution of feed. A collection of abstracts of VII Intern. Sciences. Conf. "Innovative maintenance of organic production in agriculture" in the framework of the XXXI International Agroprom-myslova exhibition "AGRO 2019" (04-07 June 2019). Kyiv. P. 82-83.

20. *Novitskyi A. V., Novitskyi Y. A.* (2017). Cluster communication, the classification of the working bodies of the "knife" of tools for the preparation and distribution of feed. Scientific Bulletin of National University of bioresources and environmental management of Ukraine. Series: technology and energy APK. Kyiv. Vol. 262. P. 287-296.

21. *Novitskyi A. V., Novitskyi Y. A.* (2017). Technical evaluation of consumer qualities of agricultural machinery. Scientific Bulletin of National University of life and environmental Sciences of Ukraine. Series: technology and energy APK. Kyiv. Vol. 264. P. 293-303.

22. *Novitskyi A. V., Ruzilo Z. V.* (2019). The definition of the function readiness of the systems "man – machine" with an increase of the failure rate. Machinery & energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10. No. 2. P. 89-96.

23. *Petrov V. M.* (2013). Production and market policy of the leading world manufacturers of agricultural machinery. Ekonomika APK. No. 12. P. 63-70.

24. *Sidorov V. N.* (2012). Reserves of increase of economic efficiency of beef cattle through the application of optimal technological parameters of preparation of complete feed mixtures. Bulletin of VNIIMI. Quarterly scientific journal. Mechanization, automation and machine technology in farming. No. 2(6)-2012. P. 185-194.

25. Agriculture of Ukraine. The statistical-tion collection. 2018. Kyiv. 2019. 482 p.

26. Mixer-feeder "Cormorant". PY-mandership the manual and spare cha-scribed. 43 p.

27. *Khmelevsky S. V.* (2012). Design – an important argument in the choice of means for cooking and Roscovantion of feed on farms with cattle. Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University. Series: technical Sciences. Vol. 11. Vol. 2. P. 286-289.

28. *Shatsky V. V.* (2016). Concept and methodology of upgrading biotechnical systems of animal husbandry. Bulletin of Kharkov national technical University of agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 157. P. 111-118.

29. *Shatsky V. V., Kislichenko A. S., Kolomiets S. M.* (2014). Mathematical modeling of dynamic structure of the mixture of loose materials. Bulletin of Kharkov National Technical University of agRiculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 144. P. 165-174.

30. *Shebanin V. S.* (2004). State technical policy in the context of updating and development of material and technical means of agricultural production in Ukraine.Economics of agro-industrial complex. №1. P. 12-15.

31. *Shlensky O. B., Gritsun O. A., Gritsun A. V.* (2013). Trends in the use of mobile shredders-distributors of stem feed. Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University. Technical sciences series. Vinnytsia. Vol. 12 (75). P. 48-55.

НАДЕЖНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В СИСТЕМЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗ ОПЫТА ЗАРУБЕЖНЫХ КОМПАНИЙ

А. В. Новицкий, А. А. Банный

Аннотация. Процессы глобализации осуществляют значительное влияние на рынок сельскохозяйственной техники. Товаропроизводители аграрной продукции, сырья и продовольствия формируют систему специфического потребительского спроса, удовлетворить который производители машиностроительной отрасли могут лишь на основе научно-практических подходов и исследований. Рынок сельскохозяйственной техники в Украине считается одним из перспективных в мире. Потенциал роста спроса на сельскохозяйственные машины и оборудование для животноводства очень высок. Это привлекает в Украину большое количество иностранных производителей. В последние десятилетия компании CLAAS, John Deere и CNH являются лидерами на украинском рынке сельскохозяйственной техники.

Целью статьи является повышение надежности сельскохозяйственной техники в системе инновационных процессов. Перспективным для обеспечения эффективности животноводства является использование техники четвертого поколения – многооперационной, энерго- и ресурсосберегающей. При сокращении производства и продажи отечественной сельскохозяйственной техники интенсивно растет импорт зарубежных аналогов машин и оборудования для приготовления и раздачи кормов. Основой исследований является использование современных тенденций развития ведущих мировых производителей машин и технологических комплексов. В последние десятилетия в животноводстве все большее распространение получают средства для приготовления и раздачи кормов. Указанные средства сочетают операции измельчения, смешивания, транспортировки и дозированной раздачи кормов. Эти машины характеризуются простотой конструкции, мобильностью, экономичностью. Для обеспечения эффективности и надежности использования современных машин требуют дальнейшего развития теоретические исследования оценки и обеспечения надежности машин, изучение влияния человека-оператора как составляющей сложной технической системы. Важны исследования классификации и повышения долговечности рабочих органов, формирование системы качественного сервисного обслуживания.

Ключевые слова: надежность, система, машина, техника, инновационные процессы, средство для приготовления и раздачи кормов.

RELIABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY IN SYSTEM OF INNOVATION PROCESSES FROM EXPERIENCE OF FOREIGN COMPANIES

A. V. Novytskyi, O. O. Bannyi

Abstract. The processes of globalization have a significant impact on the market of agricultural machinery. Producers of agrarian products, raw materials and foodstuffs form a system of specific consumer demand, which can be met by producers of machine-building industry only on the basis of scientific and practical approaches and research. The market of agricultural machinery in Ukraine is considered one of the most promising in the world. The potential for increased demand for agricultural machinery and equipment for animal husbandry is very high. This attracts a large number of foreign producers to Ukraine. In recent decades, CLAAS, John Deere and CNH have been leaders in the Ukrainian agricultural machinery market.

The aim of the article is to increase the reliability of agricultural machinery in the system of innovative processes. Perspective for maintenance of efficiency of animal industries is use of technics of the fourth generation - multioperable, power- and resource-saving. At reduction of manufacture and sale of domestic agricultural machinery import of foreign analogues of machines and the equipment for preparation and distribution of forages grows intensively. The basis of research is the use of modern trends in the development of the world's leading manufacturers of machinery and technological complexes. In the last decades in animal husbandry means for preparation and distribution of forages have become more and more widespread. These means combine the operations of crushing, mixing, transporting and dosed distribution of forages. These machines are characterized by simplicity of construction, mobility and economy. For maintenance of efficiency and reliability of use of modern machines the theoretical researches of an estimation and maintenance of reliability of machines, studying of influence of the person-operator as a component of difficult technical system demand the further development. The important researches of classification and increase of durability of working bodies, formation of system of qualitative service are.

Key words: reliability, system, machine, technique, innovative processes, means for preparation and distribution of feeds.

А. В. Новицький ORCID 0000-0001-7789-8531.
О. О. Банний ORCID 0000-0003-0505-166X.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 125-129
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.125-129

УДК 631.86:636.002:662.762.2:504.54

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ РІДКОЇ І ТВЕРДОЇ ФРАКЦІЙ ФЕРМЕНТОВАНИХ (КОМПОСТОВАНИХ) ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ І ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

О. М. Леженкін, Б. В. Болтянський

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: lan2810@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 10, рис. 0, табл. 1.

Анотація. Пошук технічних засобів та методів застосування рідкої і твердої фракцій компостованих органічних добрив для покращення родючості ґрунтів і технологічного обладнання є цінним і необхідним науковим матеріалом. Проблема використання рідкого залишку органічної речовини після ферментації в біогазовій установці, полягає в обмеженні періодів дозволеного внесення на поле, і як слідство, потребує необхідності споруд для накопичення сировини, та високої продуктивності засобів для її підготовки та розподілу по полю, або внесення у ґрунт.

Поряд із позитивними показниками потенційної родючості ґрунтів існує велика кількість показників що несприятливо впливають на навколишнє середовище. Це: забруднення природних водойм; забруднення атмосферного повітря. зміна мікробіологічної активності ґрунту; погіршення фіто санітарного стану ґрунту; мікробіологічне та бактеріальне зараження ґрунту; забруднення ґрунту важкими металами.

Програма досліджень передбачала визначення гідрологічних властивостей ґрунту щодо різної фракції та визначення сорбційної здатності ґрунтів щодо нітратного і амонійного азоту.

Визначення і розрахунок фільтраційних властивостей забезпечувалась мінімумом водопоглинення у модельних схемах площею до 700 см^3 та постійним тиском водяного стовпа на поверхні фільтрації (7 см). Визначали коефіцієнти розподілу адсорбції і дифузії.

Метод визначення коефіцієнтів фільтрації розподілу органічної сполуки – методом елюатної хвилі або фронтальної фільтрації в колонці. Розроблена оригінальна методика розрахунку показників. Отримані результати показали ефективність методу по визначенню кількісної оцінки сорбції нітратного і амонійного азоту рідкої і твердої фракції, дозволяє оцінити рухливість по коефіцієнтам дифузій і розподілу.

Висновок, що поширення і розподіл сполук в верхньому шарі ґрунту має бути 25…50 см, що запобігає фільтрації до рівня ґрунтових вод, при нормі внесення 55…75 т/га. Це дозволить одержати родючість малопродуктивних ґрунтів – до 70-80 ц/га пшениці.

Ключові слова: послід, компост, органічні добрива, рідка фракція, тверда фракція, установка біогазова, ґрунт.

Постановка проблеми

Використання рідкої і твердої фракції органічних добрив після компостування курячого посліду в біогазових установках важлива організаційна і агротехнологічна задача. Як правило, добрива застосовують для покращення родючості ґрунтів. Найбільшу зацікавленість представляє підвищення родючості малопродуктивних ґрунтів та технологічні прийоми внесення необхідних норм. До такої групи ґрунтів відносяться солончакові та слабо солонцюваті супіщані суглинисті ґрунти, що розповсюджені в умовах південного і центрального степу України. Їх основні особливості: високий вміст піску (80-90% від всіх фракцій), що створює значну водопроникність та низьке підняття підґрунтових вод по капілярам. Тому внесення компостованого рідкого і напіврідкого субстрату може приводить до неконтрольованого процесу розповсюдження азотних сполук, що впливають на екологічний стан ґрунтів і води.

Застосування рідкої і твердої фракції після компостування в біогазових установках засобами механізованого внесення характеризується значними обсягами внесення, особливостями фізико-механічних властивостей рідкого і напіврідкого середовища та способами розподілу субстратів. Одержання результатів щодо практичного застосування передбачають налаштування машин і обладнання для внесення добрив та обґрунтування параметрів технічних засобів .

Для дослідження вибрані ділянки малопродуктивних земель, що перебувають в оренді ПрАТ «Оріль-Лідер» Петриківського району Дніпропетровської області. Зволоження ґрунтів відбувається за рахунок атмосферних опадів та підґрунтових вод, глибина залягання яких

розташована на 0,6-3,0 м підґрунтові води слабомінералізовані, о деформувало солончакові ґрунти піщаного, супіщаного і суглинкового типів, з вмістом кварцу до 98%.

Аналіз фізичного стану рідинної фракції компостованого (ферментованого) субстрату визначався згідно стандартних методик ГОСТ 26715-85, 26714, 27979-88. Основні показники: вологість – 94,2%, мінеральна фракція – супісок в рідині 0,9%, масова частка органічної речовини – 4,9% в рідині, в'язкість органічної фракції 6,7 ($м^2/с$ 10^{-4}). Внесення субстратів виконувалось тракторними агрегатами. Дослідження щодо впливу застосування рідкої та твердої фракцій органічних добрив проводили у напрямках.

Визначення гідрологічних властивостей ґрунту та їх фільтраційної здатності щодо можливостей внесення рідкої фракції,

Визначення сорбційної здатності ґрунтів до органічних сполук рідкої та твердої фракцій, нітратного та амонійного азоту з метою запобігання забруднення ґрунтових вод.

Аналіз останніх досліджень

Велика кількість публікацій [1, 2, 3, 4, 5] та їх авторів звертають увагу на те, що компости – органічні добрива працюють на протязі п'яти… шести років і на всьому вегетаційному періоді. В той же час при отриманні результатів досліджень можливий точний розрахунок потреби добрив. Та головне, що розуміє: придбані добрива безпечні для його культур і проблем на полі не створять. В основному проведений аналіз дає відчутну економічну вигоду при закупівлі добрив; побічною ж вигодою є підвищення врожайності при оптимізації затрат, а інколи – і їх зменшення [5, 6].

Мета досліджень

Мета роботи – дослідження застосування рідкої та напіврідкої фракцій ферментованого (компастованого) субстрату курячого посліду, після біогазової установки для підвищення потенційної родючості малопродуктивних ґрунтів та збереження екологічності середовища.

Результати досліджень

Визначення та розрахунок фільтраційних властивостей досліджених ґрунтів сформовані на принципах моніторингу водопоглинання у модельних системах з фіксованою площею фільтрації (700 $см^2$) та постійним тиском водяного стовпа на поверхні фільтрації (7 см) [7].

Одиницею виміру водопоглинання та фільтрації, згідно традиційним уявленням, було застосовано – мм/год. При дослідженні фільтраційних показників на десяти просторово розосереджених ділянках (які були відібрані з урахуванням агровиробничих груп) були встановлені кореляційні коефіцієнти з механічним складом ґрунту та агровиробничою групою, що дозволило розрахувати ці показники відповідно до кожної точці відбору ґрунтових зразків на відповідній елементарній ділянці.

Характеристикою адсорбційної здатності ґрунтів служить коефіцієнт розподілу. Він являє собою відношення кількості сполуки, яка адсорбована одиницею маси ґрунту до концентрації сполуки у рівноважному ґрунтовому розчині. Коефіцієнт дифузії характеризує швидкість поширення сполуки за градієнтом його концентрації. Існує кілька методів визначення коефіцієнтів розподілу [8].

Найбільш прийнятним і добре імітує сам процес фільтрації та розподілу органічної сполуки в ґрунті є метод елюатної хвилі, або фронтальної фільтрації в колонці, що містить ґрунт при повній її вологоємності [9].

Відповідно до загальної теорії динаміки сорбції та хроматографії розподіл пестицидів в процесі руху у фільтровальній колонці описується системою рівнянь балансу:

$$\frac{\partial u(x_1 t)}{\partial t} + V\frac{\partial u(x_1 t)}{\partial x} + \frac{\partial N(x_1\ t)}{\partial t} = D\frac{\partial^2 U(x_1 t)}{\partial x^2}$$
$$\frac{\partial N}{\partial t} = \psi(u, N) \qquad (1)$$

де U – лінійна концентрація органічної сполуки (азотисті) в гравітаційній воді, залежить від часу; N – лінійна концентрація сорбованої сполуки залежить від часу; V – лінійна швидкість фільтрації, см/хв; D – коефіцієнт дифузії, $см^2$/хв.

У простій формі лінійна ізотерми має вигляд:

$$U(x_1 t) = hN(x_1 t) \qquad (2)$$

де h – коефіцієнт розподілу.

З огляду на лінійну ізотерму (2), систему (1) можна представити у вигляді одного рівняння:

$$\frac{\partial u(x_1 t)}{\partial t}(1+\frac{1}{h}) + V\frac{\partial u(x_1 t)}{\partial x} = D\frac{\partial^2 u(x_1 t)}{\partial x^2} \qquad (3)$$

Розглядаючи величину 1 + 1 / h = (h + 1) / h як множник рівняння, рівняння (3) перетвориться до виду:

$$\frac{\partial u(x_1 t)}{\partial t} + V'\frac{\partial u(x_1 t)}{\partial x} = H\frac{\partial^2 u(x_1 t)}{\partial x^2} \qquad (4)$$

де $V' = \frac{hV}{1+h}$;

$H = \frac{hD}{1+h}$

Метод елюатної хвилі передбачає створення у верхній частині фільтраційної колонки тонкого шару з високим вмістом відповідних сполук пестицидів тобто виконання наступних граничних і початкових умов:

$t = 0;\ 0 \le x \le X_0$; $U(x;0) = U_0$; $N(x;0) = N_0$, (5)

$x > x_0$; $U(x;0) = 0$; $N(x:0) = 0$,

$t > 0$; $x = 0$; $U(0;t) = 0$; $N(0;t) = 0$,

$x = \infty$; $U(x,t) = 0$; $N(x,t) = 0$.

Розподіл азотистих сполук в такій хвилі задовільно описується співвідношенням гауссовського типу [10]:

$$\varphi(x,t) = \frac{U(x,t)}{U_0} = \frac{X_0}{\sqrt{4\pi Ht}} EXP\left[-(x - V't)^2 / 4Ht\right] \qquad (6)$$

Для отримання виразу, що визначає ширину вихідної хвилі (для подальшого розрахунку H)

необхідно перейти від лінійної швидкості фільтрації V до об'ємної швидкості.

Виконавши перетворення можна отримати вираз:

$$\sigma = V_2 - V_1 = \frac{LV}{V'^2}\sqrt{H^2 + HLV'} \qquad (7)$$

де: σ – різниця обсягів, відповідних заднього і переднього фронту елюатної хвилі.

$$V' = L / t_{max} \qquad (8),$$

де t_{max} – час появи максимального значення у відповідній порції фільтрату на виході колонки.

Час появи максимумів в отриманих розподілах склало 142 і 380 хв. Відповідно:

$V'1 = 5{,}77 \cdot 10^{-2}$ см /хв і $V'2 = 2{,}52 \cdot 10^{-2}$ см /хв.

Обсяги відфільтрованої води, що відповідають ширині елюатной хвилі (в об'ємних координатах (V2 – V1) склали:

$\partial 1$ = (165 – 125) хв · 11 см^3 /хв= 550 см^3

$\partial 2$ = (450 – 340) хв · 12 см^3 /хв = 1060 см^3

Відповідно до виразу (7) можна скласти квадратне рівняння, 127рішення якого щодо H має вигляд:

$$H_{12} = \frac{-LV'}{2} \pm \sqrt{L^2V'^2 + \frac{\delta^2V'^4}{4V^2}} \qquad (9)$$

Для нітратного азоту H = 0,28 см²/хв; для амонійного азоту H = 0,078 см²/хв; органічних гумусових сполук рідкої та твердої фракції H = 0,0047 см² /хв.

Значення розрахунків щодо фільтраційної здатності відповідних ґрунтових відмін наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Значення розрахунків щодо фільтраційної здатності.
Table 1. The value of calculations for filtration capacity.

Гідрофізичні показники							
№ зразка	Код агрогрупи	% - впливу	ПЛОЩА ,га	pF	Найменьша вологоємність %	Швидкість насичення (мм/год)	Швидкість фільтрації (мм/год)
1	175б	2.72	4.1	2.3	20	125	48
2	175б	3.66	5.4	3.9	37	220	61
3	175б	4.43	6.6	3.1	30	175	49
4	175б	5.33	8.0	2.4	20	127	49
5	175б	8.13	12.2	3.6	31	191	74
6	175б	5.40	8.1	3.1	30	170	48
7	175б	3.28	4.9	2.4	21	130	50
8	175б	3.53	5.3	3.6	31	192	74
9	175б	3.57	5.3	2.7	23	143	55
10	175б	4.98	7.5	2.7	26	154	43
11	175б	8.20	12.3	3.6	31	193	74
12	175б	5.73	8.6	2.6	23	138	54
13	136г	4.05	6.1	2.8	27	158	44
19	136г	3.71	5.5	4.0	38	224	62
20	136г	2.93	4.4	2.5	21	135	53
21	136г	4.52	6.8	2.8	27	162	45
22	136г	7.86	11.7	3.4	29	180	70
23	136г	5.86	8.8	2.6	23	140	54
24	136г	4.95	7.4	3.0	29	167	47
25	136г	4.19	6.3	3.3	29	180	69
36	136г	2.56	3.9	2.4	21	129	50
Середнє по площам		3.0		27	164		56

Висновки

1. Використання методу елюатної хвилі дозволяє вирішити задачу кількісної оцінки сорбції нітратного та амонійного азоту рідкої і твердої фракції, гумусових сполук у досліджених ґрунтових відмінах, оцінити їх рухливість коефіцієнтами дифузії з відповідною розмірністю. Це дає можливість зробити висновок що поширення та розподіл цих сполук у верхньому шарі ґрунту має бути: 25-50 см, що повністю запобігає фільтрації до рівня кайми ґрунтових вод при нормі внесення 55-75 т/га.

2. У поєднанні із значною кількістю внесених азотних сполук це значно підвищує потенційну родючість малопродуктивних ґрунтів і дає можливість одержувати високі врожаї – 70-80 ц/га пшениці.

Список літератури

1. *Гетьманенко В. А., Скрильник Є. В.* Екологічне поводження з органічними добривами в контексті нітратної директиви. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Спеціальний випуск. Книга 2. Меліорація, рекультивація, охорона ґрунту, гумусовий стан, біологія ґрунтів, сучасне землеробство. Харків: ПТ «Сталь-Іздат», 2018. С. 143-145.

2. *Шевченко І. А., Павленко С. І., Ляшенко О. О.* Проблеми і рішення утилізації органічних відходів тваринництва в Україні. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. Вип. 15 (29). 2011. С. 448-456.

3. *Шувар Іван.* Про родючість ґрунту треба дбати постійно [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/694-pro-rodiuchist-runtu-treba-dbaty-postiino.html.

4. *Корчинська О. А.* Організаційно-економічне регулювання розширеного відтворення родючості ґрунтів: монографія. Київ. ННЦ ІАЕ. 2015. 360 с.

5. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства. За ред. В. В. Медведєва, М. В. Лісового. Харків. Штріх. 2001. 100 с.

6. Внесення добрив: дослідження, норми, терміни … [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://superagronom.com.

7. *Медведев В. В., Лактионова Т. Н., Донцова Л. В.* Водные свойства почвы Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Харьков. Апостроф. 2014. 224 с.

8. *Городій М. М.* Проблеми використання осадів стічних вод для використання добрив. Вісник аграрної науки. 2013. №4. С. 45-50.

9. *Цизь І. Є., Поліщук Т. Т.* Дослідження процесу поглинання вологи сопропелю різної соломи. Сільськогосподарські машини. 2011. Вип. 21. Т. 2. С. 296.

10. *Тихонов А. Н., Самарский А. А.* Уравнения математической физики: учебное пособие. Москва. Наука. 1972. 320 с.

References

1. *Getmanenko V. A., Skrylnyk E. V.* (2018). Ecological management of organic fertilizers in the context of nitrate directive. Agrochemistry and Soil Science. Interdepartmental thematic scientific collection. Special issue. Book 2. Reclamation, reclamation, soil protection, humus, soil biology, modern agriculture. Kharkiv. PT Stal-Izdat. P. 143-145.

2. *Shevchenko I. A., Pavlenko S. I., Lyashenko O. O.* (2011). Problems and solutions for the utilization of organic animal waste in Ukraine. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Doslidnitske. Vol. 15 (29). P. 448-456.

3. *Shuvar Ivan.* Soil fertility must be taken care of constantly [Electronic resource]. Access mode: http: //www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/694-pro-rodiuchist-runtu-treba-dbaty-postiino.html.

4. *Korchynska O. A.* (2015). Organizational and economic regulation of extended reproduction of soil fertility: monograph. Kyiv. 360 p.

5. The state of soil fertility of Ukraine and the forecast of its changes under modern agriculture. (2001). For order. V. V. Medvedev and M. V. Lysoviy. Kharkiv. Shtrih. 100 p.

6. Fertilizer application: research, norms, terms… [Electronic resource]. Access mode: https: //superagronom.com.

7. *Medvedev V. V., Laktionova T. N., Dontsova L. V.* (2014). Water properties of soil of Ukraine and moisture supply of agricultural crops. Kharkiv. Apostrophe. 224 p.

8. *Gorodiy M. M.* (2013). Problems of using sewage sludge for the use of fertilizers. Bulletin of Agrarian Science. Vol. 4. P. 45-50.

9. *Tsiz I. Ye, Polishchuk T. T.* (2011). Investigation of the process of moisture absorption of copropel of different straw. Agricultural machines. Vol. 21. Issue 2. P. 296.

10. *Tikhonov A. N., Samarskiy A. A.* (1972). Equations of mathematical physics. Moscow. Science. 320 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКОЙ И ТВЕРДОЙ ФРАКЦИЙ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ (КОМПОСТИРОВАННЫХ) ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А. Н. Леженкин, Б. В. Болтянский

Аннотация. Поиск технических средств и методов использования жидких и твердых фракций компизированных органических удобрений для улучшения плодородия почвы и технологического оборудования является ценным и необходимым научным материалом. Проблема использования жидких остатков органического вещества после брожения на биогазовой установке заключается в ограничении сроков разрешенного внесения и средств для его подготовки и распределения по полю или внесения в почву.

Наряду с положительными показателями потенциального плодородия почвы существует большое количество показателей, которые отрицательно влияют на окружающую среду. Это: загрязнение природных водоемов; загрязнение воздуха; изменение микробиологической активности почвы; ухудшение фитосанитарного состояния почвы; микробиологическое и бактериальное загрязнение почвы; загрязнение почвы тяжелыми металлами.

Исследовательская программа включала определение гидрологических свойств почвы по отношению к различным фракциям и определение

адсорбентной способности почвы на нитратном и аммиачном азоте.

Минимум всасывания воды в модельных диаграммах до 700 см^3 и постоянное давление водного столба на поверхности фильтрации (7 см). Определенные коэффициенты распределения адсорбции и диффузии.

Метод измерения распределительных коэффициентов органического соединения проводился методом элюатной волны или фронтальной фильтрации в столбце. Разработан оригинальный метод расчета показателей.

Полученные результаты показали эффективность метода по определению количественной оценки сортировки нитратов и аммония азота жидкой и твердой фракции, позволяет оценить подвижность по коэффициенту диффузии и распределения. Верхний слой почвы должен быть 25...50 см, что предотвращает фильтрацию до уровня грунтовых вод, с нормой применения 55...75 т/га. Это позволит обеспечить плодородие низкопродуктивных почв до 70-80 ц/га пшеницы.

Ключевые слова: помёт, компост, органические удобрения, жидкая фракция, твёрдая фракция, установка биогазовая, почва.

RESEARCH OF APPLICATION OF LIQUID AND SOLID FRACTIONS OF FERMENTED (COMPOSTED) ORGANIC FERTILIZERS FOR IMPROVEMENT OF FERTILITY OF SOIL AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

A. N. Lezhenkin, B. V. Boltianskyi

Abstract. The search for technical means and methods for the use of liquid and solid fractions of compozed organic fertilizers to improve soil fertility and technological equipment is valuable and necessary scientific material. The problem of using the liquid residue of the organic matter after fermentation in the biogas plant is to limit the periods of permitted entry into the field, and as a consequence, requires the need for buildings for the accumulation of raw materials, and high productivity

Of the means for its preparation and distribution by field, or application to the soil. Along with the positive indicators of a potential fertility of the soil, there are a large number of indicators that adversely affect the environment. This: pollution of natural reservoirs; Air pollution. Alteration of microbiological activity of soil; Deterioration of the phytosanitary condition of soil; Microbiological and bacterial contamination of the soil; Soil contamination with heavy metals.

The research program included determining the hydrological properties of the soil in relation to different fractions and determination of sorptive soil capacity on nitrate and ammonium nitrogen. The definition and calculation of filtration properties was ensured by the A minimum of water absorption in model diagrams of up to 700 cm^3 and a constant pressure of the water column on the surface of filtration (7 cm). Determined coefficients of the distribution of adsorption and diffusion. The method of measuring the distribution coefficients of organic compound is by a method of eluate wave or frontal filtration in a column.

The original method of calculating indicators was developed. The obtained results showed the efficiency of method by definition of quantitative estimation of sortation of nitrate and ammonium nitrogen of liquid and solid fraction, allows to estimate mobility by coefficient of diffusion and distribution. Conclusion that distribution and distribution of compounds in The top layer of soil should be 25...50 cm, which prevents filtration to the groundwater level, with a norm application of 55...75 t/ha. This will get the fertility of low-productive soils-up to 70-80 c/ha of wheat.

Key words: litter, compost, organic fertilizers, liquid fraction, hard throck, gas, soil.

О. М. Леженкін ORCID 0000-0003-2822-8173.
Б. В. Болтянський ORCID 0000-0003-2072-4025.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 131-136*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.131-136

УДК 633.63.631.5

ВИСОКОПРОДУКТИВНІ АГРЕГАТИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПЕРЕД СІВБОЮ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ТА ІНШИХ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР

Д. А. Дерев'янко

Поліський національний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: lan2810@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 10, рис. 4, табл. 0.

Анотація. У статті представлено огляд техніки зарубіжного і вітчизняного виробництва, яка застосовується в Україні при підготовці ґрунту перед сівбою буряків цукрових та інших технічних культур. Проведено аналіз грунтообробних агрегатів відомих компаній-виробників головним чином в розрізі недоліків і переваг робочих органів для розпушування і подрібнення ґрунту: стрільчастих лап, дискових, комбінованих.

Передпосівний обробіток, показники агротехнічних вимог до якого є підвищеними, рекомендовано проводити багатоопераційними машинами – компакторами, що обробляють, вирівнюють, структурують грунт для «вимогливих» культур за один прохід, створюючи точне і однорідне посівне ложе для насіння за чіткого дотримання глибини обробітку по всій ширині агрегату.

Ключові слова: агрегат комбінований, цукровий буряк, передпосів, обробіток ґрунту, компактор.

Постановка проблеми

Ранньовесняний обробіток ґрунту перед сівбою технічних культур призначений для знищення паростків і сходів бур'янів та розпушення поверхневого шару до заданої, залежно від культури яка буде висіватися, глибини до дрібно-грудочкуватого стану з метою збереження вологи.

Передпосівний обробіток ґрунту виконується на глибину заробляння насіння для створення сприятливих умов його проростання, головною серед яких є щільність насіннєвого ложа і вирівнянність глибини. Передпосівний обробіток є складовою частиною єдиного технологічного процесу сівби і здійснювати його належить з мінімальним розривом у часі, особливо за сівби цукрових буряків, коли перша операція випереджає наступну на два-три проходи посівного агрегату.

Основним рихлячим робочим органом агрегатів як зарубіжного, так і вітчизняного виробництва традиційно є здавна відома стрільчаста лапа. Вони мають різну конструкцію і є, як правило, пасивними та компонуються на грядилях рами залежно від вологості і твердості оброблюваного ґрунту.

Грунтообробні агрегати з дисковими робочими органами відомих на Україні виробників мають переваги перед стрільчастими лапами щодо показників ранньовесняного обробітку ґрунту, насамперед за рахунок зниження тягового опору, особливо при роботі на твердих чи перезволожених ґрунтах, проте тільки де-які з них можуть якісно виконувати передпосівний обробіток, насамперед під цукрові буряки.

Застосування агрегатів зі стрільчастими лапами може бути ускладненим через наявність на поверхні ґрунту значної кількості рослинних залишків, які можуть привести до забивання робочих органів машини. За такої умови краще будуть працювати дискові ґрунтообробні агрегати. Однак є ще один вид машин для обробітку ґрунту – компактори (комбіновані агрегати), якість роботи яких є ще менш сумнівною як при підготовці ґрунту під цукровий буряк та, наприклад, овочі, так і під сою, продуктивність виробництва якої не просто потребує, а ставить перед аграріями безкомпромісну вимогу щодо ідеального вирівнювання поверхні поля перед посівом, адже в подальшому це також дозволить зібрати урожай практично без втрат.

Аналіз останніх досліджень

До комплексу факторів, які суттєво впливають на польову схожість насіння, належить температура та вологість підготовленого ґрунту, достатня повітрявмісткість, співвідношення між вмістом води й повітря, вирівняність структурно-агрегатного складу ґрунту до потрібних значень показників [1-10].

Відповідно до Нацстандарту глибина розпушеного поверхневого шару, зокрема для буряків цукрових, залежно від вологості ґрунту, має бути від 2,5 до 4 см на всій ширині захвату знаряддя й не повинна відхилятися від заданої; ґрунтових агрегатів (грудочок) розміром від 1 до 10 мм має бути не менше 90 % від загальної кількості, розміром 20 мм – до 10 %; щільність складання на суху масу в обробленому шарі

– до 1,2 г/см^3; висота гребенів чи глибина впадин ґрунту не повинна перевищувати 2±0,5 см; непідрізаних бур'янів має бути не більше 2 %; ширина перекриття попереднього проходу культиватора має бути від 15 до 20 см [5].

Мета досліджень

Метою даних досліджень є аналіз можливостей грунтообробних агрегатів відомих виробників і рекомендації щодо проведення якісного обробітку ґрунту перед сівбою цукрових буряків та інших технічних культур в залежності від стану ґрунту і типу робочих органів.

Результати досліджень

Завдяки різноманітним і технічно досконалим робочим органам та широким можливостям налагодження комбінованих грунтообробних агрегатів, після одного проходу ми отримуємо оброблене на однакову глибину і ідеально вирівняне поле. Однозначної відповіді, якою має бути глибина передпосівного обробітку ґрунту, особливо в зв'язку з культурою, немає. Одні виробники сільськогосподарської техніки стверджують, що вона повинна бути не більше глибини висіву насіння. Тобто, насіння має лягати на тверде посівне ложе, що гарантує йому відмінний контакт з грунтом. А деякі виробники пропонують рихлити ґрунт на глибину 10-12 см і потім знову ущільнювати його, після чого висівати насіння. Більшість комбінованих посівних комплексів працюють за такою схемою розміщення робочих органів: в передній частині машини – дискова борона, яка розпушує грунт, потім відбувається прикочування широкими опорними колесами і тільки після цього – посів. На разі є багато прихильників як однієї, так і другої технології.

Переваги компакторів іноземного та вітчизняного виробництва, як багатоопераційних машин, що обробляють, вирівнюють, структурують грунт для «вимогливих» культур є наступними:

- ✓ об'єднання кількох робочих операцій в одну, що дозволяє знизити витрати на підготовку грунту;
- ✓ абсолютно рівна поверхня поля після проходження агрегату;
- ✓ створення точного і однорідного посівного ложа для всіх рослин (чітке дотримання глибини обробітку по всій ширині агрегату);
- ✓ ідеальне подрібнення грудок завдяки використанню різних робочих органів;
- ✓ завдяки вдалому технічному рішенню, за допомогою цього агрегату вдається дотримуватися відповідні агротехнічні строки виконання грунтообробних операцій.

Lemken System-Korund. Для передпосівної обробки грунту компанія Lemken пропонує дві спеціалізовані машини, а саме: універсальний комбінований агрегат System-Kompaktor і не менш універсальний агрегат System-Korund. Хоча обидві машини призначені для передпосівної обробки грунту, проте мають ряд технічних відмінностей, що робить їх незамінними при роботі в різних умовах.

System-Kompaktor виконує передпосівну підготовку грунту за один робочий прохід - його виготовляють з шириною захвату від 3 до 12 м. Починаючи від 8 м ширини, агрегат System-Kompaktor навішують на системоносій Gigant. При такій компоновці ви отримуєте один широкозахватний агрегат, який дозволяє ефективно завантажити потужні трактори, наявні в господарстві. І навпаки - якщо потужний трактор застосовують на інших роботах, можливо самостійне використання агрегатів, адже машина з шириною захвату 8 м складається з двох 4-метрових агрегатів, а 10- і 12-метрові машини - з двох 5- і 6-метрових агрегатів відповідно.

Завдяки вдалій компоновці робочих органів, System-Kompaktor є ідеальним знаряддям для передпосівної обробки грунту з дотриманням однакової глибини. Особливо - для культур, насіння яких слід висівати на невелику глибину. Адже агрегати System-Kompaktor готують грунт на глибину загортання насіння, тобто в межах від 2 до 15 см. Характерною відмінністю цих агрегатів від аналогічних машин інших виробників є те, що вони якісно готують грунт під посів дрібнонасінних культур (льон, морква, трави, рапс, буряк цукровий і т.п.) на глибину 2 см (рис. 1).

Рис. 1. Lemken System-Kompaktor для передпосівного обробітку грунту.

Fig. 1. Lemken System-Kompaktor for pre-sowing tillage.

Робочими органами агрегатів System-Kompaktor є три ряди стрілчастих лап, два планчасті котки-грудкоподрібнювачі, два вирівнюючих бруси і кільчасто-шпоровий коток. Завдяки паралелограмній підвісці робочих секцій зі стрілчастими лапами досягається розпушування грунту на точно встановлену глибину. Лапи розміщені таким чином, що працюють чітко горизонтально і не зачіпають нижній вологоутримуючий шар, що дозволяє зберегти дорогоцінну вологу під насіннєвим ложем.

Планчасті катки, розташовані в передній частині агрегату, попередньо кришать і подрібнюють грунт, а спеціальні планки якісно вирівнюють посівну площу. Фінальний робочий орган - кільчасто-шпоровий коток, який майже повністю подрібнює великі грудки і рівномірно ущільнює розпушену поверхню поля, створюючи таким чином ідеальні умови для проростання насіння. Крім того, коток «сортує» грудки: дрібні залишаються внизу, а великі -

виносяться на поверхню, захищаючи таким чином насіннєве ложе від розмивання в результаті дощів, вітрів і ерозійних процесів.

На важких або схильних до перезволоження ґрунтах рекомендують використовувати замість секцій зі стрілчастими лапами робочі секції з гамма-зубцями. Завдяки вертикальному розташуванні зубців, на відміну від літніх їхнього економічного становища, вологий шар грунту просто розкривається, а не виноситься на поверхню.

Veles-Agro. Один з найбільших національних виробників сільськогосподарської техніки - компанія Veles Agro - теж має в своєму арсеналі відповідний комбінований агрегат. Forward-6 від українського виробника - це дійсно інноваційна машина, конструкція якої вдало поєднує останні досягнення провідних машинобудівних компаній світу, проте - з української ціною (рис. 2).

Рис. 2. Комбінований агрегат Veles-Agro Forward-6 для передпосівного обробітку грунту.

Fig. 2. Combined unit Veles-Agro Forward-6 for pre-sowing tillage.

Наприклад, на багатоопераційному агрегаті використовують катки і підшипникові вузли, які не потребують обслуговування і працюють на культиваторах типу КПГ, робочі органи Forward, а саме стрільчаста лапа має підпружинений захист, яка також «взята» з того самого культиватора КПГ. Для якісного опрацювання агрегат оснащений розпушувачами сліду трактора, щоб мінімізувати ефект переущільненої грунту уздовж колії трактора. Вирівнювання поля відбувається за допомогою трьох спеціальних планок, які розташовані попереду переднього котка, після секцій зі стрілчастими лапами і ззаду прикочуючими кільчасто-шпоровими котками.

Для досягнення рівномірності і точності обробітку робочі секції зі стрілчастими лапами встановлені на паралелограмній підвісці. До того ж регулювання глибини обробітку відбувається безступінчато в межах від 2 до 12 см. Основний шар грунту подрібнюється планчастим котком, що має діаметр 400 мм і оснащеним надійними підшипниковими вузлами імпортного виробництва. Фінальне подрібнення і максимальне ущільнення грунту виконує кільчасто-шпоровий коток, який придатний для всіх типів грунтів. Для того, щоб уникнути забивання і залипання котка грунтом, він обладнаний спеціальними чистиками.

Для запобігання утворенню грунтових напливів між сусідніми проходами агрегат обладнаний металевими захисними щитками. Завдяки великій робочої швидкості (до 14 км/год) і ширині захвату (6 м), агрегат має високу продуктивність - до 7,2 га/год. Елементи управління передпосівним комбінованим агрегатом Forward створені з урахуванням побажань аграріїв, тому прості і доступні для регулювання.

Farmet Kompaktor. Гідне місце не тільки на українському, але і на світовому ринку займають чеські ґрунтообробні агрегати Kompaktomat. Сьогодні компактори Farmet - це перевірені часом і різними умовами роботи сільгоспмашини, які серед українських аграріїв користуються великою популярністю. Можливо, тому, що вони одними з перших з агрегатів такого сегмента з'явилися на вітчизняному ринку.

Серед представлених машин цей виробник пропонує чи не найбільший модельний ряд агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту. Сьогодні компанія пропонує таку техніку в трьох варіантах виконання: навісні, причіпні та причіпні широкозахватні машини. Мінімальна робоча ширина захвату - 2,5, а максимальна - 15,7 м. Причому транспортна ширина всіх машин становить 3 м, що є вигідним габаритом при переїздах.

Kompaktomat виконує за один прохід кілька робочих операцій, в результаті яких поверхня поля якісно вирівняна і оптимально ущільнена. У розпушеному грунті відновлюється капілярність і на потрібній глибині створюється посівне ложе. Грудки землі м'яко подрібнені. Для створення ідеальної рівної поверхні Kompaktomat забезпечений трьома волоками: передня - розміщена перед переднім катком і розподіляє і згладжує чималі нерівності. Залежно від потреб господарств, які планують використовувати передпосівні компактори, їх можуть оснащувати трьома видами робочих органів.

Секція AL оснащена стійками зі стрілчастими лапами шириною 25 см, розташованими в два ряди. Кожна стійка має захист листовою пружиною. Ця секція призначена для легких ґрунтових умов без великої кількості рослинних залишків. За секцією стандартно встановлюють планчасту волокушу. Секція CF оснащена стійками з вузькими долотами шириною 3,5 см, розташованими в чотири ряди. Цю долотову секцію використовують перш за все навесні для обробки дуже вологих і важких грунтів, коли небажано піднімати на поверхню вологий шар грунту.

Секція AP – універсальна. Вона оснащена стійками зі стрілчастими лапами шириною 25 см, розташованими в два ряди, які мають пружинний захист. Стрілчасті лапи встановлені на стійки, які, завдяки своїй формі, забезпечують високу прохідність при наявності рослинних залишків. Тому цю секцію використовують перш за все на ділянках з великою кількістю подрібнених рослинних залишків і в важких умовах.

За бажанням клієнта виробник може оснастити Kompaktomat гідравлічним регулюванням глибини робочих органів і таким же регулюванням передню волокушу. В умовах літнього періоду, коли необхідно інтенсивно подрібнювати тверді висохлі грудки, напівнавісні агрегати можуть бути також оснащені задньою трьохточковою навіскою для агрегатування додаткових кільчасто-шпорових котків Crosskill (рис. 3). Завдяки додатковому обладнанню гідравлічними магістралями є можливість навішувати

сівалку для продуктивного поєднання обробітку грунту і сівби.

Рис. 3. Комбінований агрегат Farmet Kompaktomat для ранньовесняного обробітку грунту.

Fig. 3. Combined unit Farmet Kompaktomat for early spring tillage.

Bednar. Чеський виробник сільськогосподарської техніки для обробки грунту - Bednar пропонує досить широкий модельний ряд агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту. Завдяки широким можливостям комплектації і установки допоміжних систем, передпосівні компактори Swifter практично при будь-яких умовах здатні якісно підготувати грунт за один прохід.

Умовно компактори фірми Bednar можна розділити на чотири групи: навісні машини з шириною захвату від 3 до 5 м (серія SN); напівпричіпні компактори з опорної віссю, розташованою позаду компактора, і робочою шириною від 4 до 8 м (серії SO F і SO); широкозахватні компактори з робочою шириною захвату від 8,2 до 12,2 м (серія SE) і гіганти передпосівної обробки грунту з робочою шириною від 14,2 до 18,2 м (серія SM). Разом з тим слід зазначити, що, незалежно від ширини захвату, всі моделі компакторів (крім навісного SN 4000 R) мають транспортну ширину 3 м.

Всі ці агрегати безумовно заслуговують на увагу. Однак, як показує практика експлуатації цих машин в Україні, досить популярні машини серії SE з робочою шириною захвату 10 м. Для приведення в дію такого культиватора достатня потужність 280-330 л. с. адже максимальна глибина обробітку грунту не перевищує 6 см навіть на полях з великою крутизною схилів.

Bednar Swifter SO_F. Про особливості конструкції: хотілося б відзначити, що при ширині захвату агрегату 10 м він не має подвійного (а то і потрійного) складання рами, як у інших агрегатах. У цій моделі рама складається вперед - це дуже вдале рішення, оскільки в ній немає додаткових вузлів для «переломлення» рами. Швидкість складання / розкладання становить менше 4 хв. Також вдалим є розміщення транспортних коліс, які під час роботи рухаються попереду самого культиватора. Таке рішення надає агрегату кращу стабільність в роботі завдяки зниженню вібрації і допомагає точніше дотримуватися глибини обробітку грунту.

Позитивним моментом є і те, що на агрегаті встановлено підшипники кочення, що не потребують обслуговування, причому всі вони одного розміру і взаємозамінні. За бажанням або в разі потреби культиватори можуть бути оснащені робочими секціями зі стрілчастими лапами, гамма-сошниками і «весняними» лапками (SB-секція).

Стрілчасті лапи шириною 270 мм, Встановлені з перекриття, розташовані в два ряди, що гарантує якісне підрізання грунтового профілю по всій ширині захвату машини. Завдяки оптимальному робочому куту установки лап відбувається інтенсивний обробіток і розпушування ґрунту. Кожна лапа закріплена на гнучкій стійці, чим досягається 3D-ефект (горизонтальне и вертикальне переміщення), який захищає лапу від пошкодження (рис. 4).

Рис. 4. Компактор Bednar Swifter SO_F для передпосівного обробітку грунту.

Fig. 4. Compactor Bednar Swifter SO_F for pre-sowing tillage.

Bednar Swifter SO_Profi Гамма-сошники розташовані в чотири ряди під негативним кутом і забезпечують якісне розпушування та аерацію грунту, що сприяє кращому її прогріванню без винесення вологих ґрунтових частинок на поверхню поля. Таким чином відбувається збереження вологи, накопиченої за зиму, яка надзвичайно важлива для швидкого вегетаційного старту ярих культур. Крім того, стійки кріплення гамма-сошників підресорені, що дозволяє збільшити робочу швидкість до 15 км / год.

«Весняні» лапки, розташовані в чотири ряди і закріплені на S-образної стійці, гарантують якісну обробку полів навесні. Оскільки вони не мають вертикального кута атаки, це зменшує навантаження на трактор і дозволяє не виносити на поверхню вологий нижній шар грунту, що позитивно позначається на швидкості появи сходів і їх якості.

Висновки

1. Передпосівний обробіток ґрунту, показники агротехнічних вимог до якого є підвищеними, особливо за вирощування буряків цукрових, доцільно проводити багатоопераційними машинами – компакторами Lemken: System-Kompaktor, System-Korund, Veles-Agro Forward-6, Bednar Swifter SO_F, що обробляють, вирівнюють, структурують грунт за один прохід, створюючи точне і однорідне посівне ложе для насіння за чіткого дотримання глибини обробітку по всій ширині агрегату.

2. Ранньовесняний обробіток ґрунту перед сівбою технічних культур рекомендовано проводити компакторами Farmet Kompaktomat, Bednar (серії SE).

Список літератури

1. Буряки цукрові. Сівба. Показники якості та методи їх контролювання: ДСТУ 6054:2008. [Чинний від 2008-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2007. 12 с. (Національний стандарт України).

2. *Bulgakov V., Pascuzzi S., Nadykto V., Ivanovs S.* A mathematical model of the plane-parallel movement of asymmetric machine-tractor aggregate. Agriculture. 2018. Vol. 8(10). P. 151-157.

3. Обробіток ґрунту під цукрові буряки передпосівний. Вимоги та методи контролювання. ДСТУ 4819:2007. [Чинний від 2007-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2006. 9 с. (Національний стандарт України).

4. *Bulgakov V., Ivanovs S., Santoro F., Anifantis A.* Experimental investigation of the energy-power characteristics of the cleaner of the root crop heads from the haulm. Engineering for rural development. 2019. Vol. 18. P. 129-135.

5. *Spall J. C.* Factorial design for efficient experimentation: generating informative data for system identification. IEEE Control Systems Magazine. 2020. Vol. 30 (5). P. 38-53.

6. *Сінченко В. М.* Управління формуванням продуктивності цукрових буряків. Київ. Нілан-ЛТД. 2012. 582 с.

7. *Волоха М. П.* Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань: монографія. Київ. 2015. 220 с.

8. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Rosamaha Yu. O., Blesnyuk O. V., Ohiienko A. V.* Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. 2019. Bucharest. Vol. 58. No 2. P. 137-146. doi: 10.35633/INMATEH-58-15.

9. *Mank V., Tonkha O., Galimova V., Surovtsev S., Menshov O., Bukova O., Rogovskiy I.* Electrochemical investigation of cobalt absorbtion processes by soils of Ukraine. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv-Geology. Kyiv. 2019. Vol. 3 (86). P. 31-39.

10. *Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Haponenko O.I., Ohiienko M.M., Kulik V.P.* Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 60. No 1. P. 45-52. doi: 10.35633/INMATEH-60-05.

References

1. Sugar beets. (2007). Sowing. Quality indicators and methods of their control: DSTU 6054: 2008. [Effective from 2008-01-01]. Kyiv. 12. (National standard of Ukraine).

2. *Bulgakov V., Pascuzzi S., Nadykto V., Ivanovs S.* (2018). A mathematical model of the plane-parallel movement of asymmetric machine-tractor aggregate. Agriculture. Vol. 8(10). 151-157.

3. Pre-sowing tillage for sugar beets. (2006). Requirements and methods of control. DSTU 4819: 2007. [Effective from 2007-01-01]. Kyiv. 9. (National standard of Ukraine).

4. *Bulgakov V., Ivanovs S., Santoro F., Anifantis A.* Experimental investigation of the energy-power characteristics of the cleaner of the root crop heads from the haulm. Engineering for rural development. 2019. Vol. 18. P. 129-135.

5. *Spall J. C.* (2020). Factorial design for efficient experimentation: generating informative data for system identification. IEEE Control Systems Magazine. Vol. 30 (5). 38-53.

6. *Sinchenko V. M.* (2012). Management of the formation of productivity of sugar beets. Kyiv. Nilan-LTD. 582.

7. Volokha M. P. (2015). Technological complex of machines for the production of sugar beets: row spacing. Theory, modeling, test results: monograph. Kyiv. 220.

8. *Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Rosamaha Yu. O., Blesnyuk O. V., Ohiienko A. V.* (2019). Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. Vol. 58. No 2. 137-146. doi: 10.35633/INMATEH-58-15.

9. *Mank V., Tonkha O., Galimova V., Surovtsev S., Menshov O., Bukova O., Rogovskiy I.* (2019). Electrochemical investigation of cobalt absorbtion processes by soils of Ukraine. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv-Geology. Kyiv. Vol. 3 (86). 31-39.

10. *Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Haponenko O.I., Ohiienko M.M., Kulik V.P.* (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. Vol. 60. No 1. 45−52. doi: 10.35633/INMATEH-60-05.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ АГРЕГАТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВУ ПРЕДПОСЕВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И ДРУГИХ ТЕХНИЧЕСКИХ КУЛЬТУР

Д. А. Деревянко

Аннотация. В статье представлен обзор техники зарубежного и отечественного производства, которая применяется в Украине при подготовке почвы перед посевом сахарной свеклы и других технических культур. Проведен анализ почвообрабатывающих агрегатов известных компаний-производителей главным образом в разрезе недостатков и преимуществ рабочих органов для рыхления и измельчения грунта: стрельчатых лап, дисковых, комбинированных.

Предпосевную обработку, показатели агротехнических требований к которому является повышенными, рекомендуется проводить многооперационных машинами – компактор, обрабатывающих, выравнивают, структурируют почву для «требовательных» культур за один проход,

создавая точное и однородное посевное ложе для семян при четком соблюдении глубины обработки по всей ширине агрегата.

Ключевые слова: агрегат комбинированный, сахарную свеклу, предпосев, обработка почвы, компактор.

HIGHLY PRODUCTIVE UNITS FOR TREATMENT OF SOIL BEFORE SOWING OF SUGAR BEETS AND OTHER TECHNICAL CROPS

D. A. Derevianko

Abstract. The article presents an overview of equipment of foreign and domestic production, which is used in Ukraine in soil preparation before sowing of sugar beets and other industrial crops. The analysis of tillage units of well-known manufacturers is carried out mainly in terms of disadvantages and advantages of working bodies for loosening and grinding the soil: arrow paws, disk, combined.

Pre-sowing tillage, indicators of agrotechnical requirements to which are increased, it is recommended to carry out multi-operational machines - compactors that cultivate, level, structure the soil for "demanding" crops in one pass, creating an accurate and uniform seedbed for strict adherence to the depth of cultivation unit.

Key words: combined unit, sugar beet, pre-sowing, tillage, compactor.

Д. А. Дерев’янко ORCID 0000-0001-8487-2153.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 137-143
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.137-143

УДК 631.3

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ГОДІВЛІ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

В. В. Радчук, С. Є. Потапова

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: vitalr@online.ua.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 11, рис. 7, табл. 0.

Анотація. Інтенсивний розвиток сільського господарства сприяв еволюції технічних засобів для забезпечення годівлі молочної худоби. Для того, щоб мати високу рентабельність, недостатньо лише згодовувати тваринам високоякісні корми. Сучасні тваринницькі комплекси потребують технічних засобів, які б забезпечували їх точне дозування та сучасні способи роздавання. Застосування різних видів автоматизованих систем дозволяє заощадити дорогі концентрати, підвищити ефективність їх використання та знизити ризик захворювань, викликаних порушенням обміну речовин. Крім того, з їх допомогою звільняються трудові ресурси і економиться місце в корівнику.

Практичний досвід показує, що при дотриманні всіх технологічних прийомів застосування різних видів автоматизованих систем годівлі дозволяє збільшити надої до 10% завдяки підвищенню ефективності використання кормів і збереженню здоров'я тварин.

При прив'язному способі утримання забезпечення кожної корови необхідною кількістю концентрованих кормів у відповідності з її продуктивністю та фазою біологічного циклу можливе лише при їх індивідуальному диференційованому розподілі.

Ключові слова: годівля, корм, техніка, технології, велика рогата худоба.

Постановка проблеми

Зростання поголів'я дійних корів і ВРХ на відгодівлі в сільськогосподарських підприємствах призводить до збільшення витрат робочого часу. Щоб бути конкурентоспроможними, а також маючи на меті скорочення робочого часу і більш його гнучкого його використання, полегшення умов праці і забезпечення зростаючих потреб кожної тварини в стаді, підприємства обирають автоматизацію робочих процесів. Прикладом є автоматичне доїння, яке за останні 20 років набуло великого значення, особливо в регіонах із середнім поголів'ям корів. Але і автоматизація годівлі з використанням автоматичних кормових систем отримує все більшого розповсюдження.

Інтенсивний розвиток сільського господарства сприяв еволюції технічних засобів для забезпечення годівлі молочної худоби [7, 8]. Для того, щоб мати високу рентабельність, недостатньо лише згодовувати тваринам високоякісні корми. Сучасні тваринницькі комплекси потребують технічних засобів, які б забезпечували їх точне дозування та сучасні способи роздавання.

Аналіз останніх досліджень

У відповідності до прийнятих зоотехнічних вимог тривалість процесу роздавання кормів тваринам в одному приміщенні не повинна перевищувати 20-30 хвилин. Точність дозування має знаходитися: для стебельчастих кормів - в діапазоні ± 15%, а для концентрованих - в діапазоні ± 5%. Зворотні втрати корму не повинні перевищувати 1%, незворотні втрати не допускаються.

Застосування різних видів автоматизованих систем дозволяє заощадити дорогі концентрати, підвищити ефективність їх використання та знизити ризик захворювань, викликаних порушенням обміну речовин, завдяки чому у господарств є можливість збільшити надої до 10%. Крім того, з їх допомогою звільняються трудові ресурси і економиться місце в корівнику.

Можна виділити чотири варіанти організації процесу годівлі [10]:

1. мобільними засобами (самохідними або причепними);
2. стаціонарними установками, тобто за допомогою системи конвеєрів різних типів;
3. комбінованим способом, коли доставка кормів до тваринницького приміщення для тварин здійснюється мобільними засобами, а розподіл по фронту годівлі - стаціонарними установками;
4. засобами з обмеженим ступенем свободи переміщення (координатними).

Годівля тварин кормосумішами дозволяє повністю автоматизувати процес годівлі та підвищити продуктивність корів за рахунок кращого засвоєння кормів. Перевага такої системи, яку називають Unifeed (єдиний корм) [11], полягає в тому, що травний процес

у тварин протікає без коливань величини pH в рубці, корм краще поїдається і ефективніше використовується. При цьому виключається можливість вибіркового поїдання окремих видів корму і практично повністю усуваються його втрати в залишках [9]. Споживання більшої кількості сухої речовини сприяє збільшенню вмісту в молоці білка і зниження захворюваності.

Мета досліджень

Аналіз існуючих засобів автомтизованої годівлі ВРХ та визначення напрямків подальших досліджень і можливих технічних шляхів вирішення проблеми забезпечення корів необхідною кількістю концентрованих кормів у відповідності з їх продуктивністю при прив'язному способі утримання.

Результати досліджень

Аналіз інформаційних джерел [1-7] свідчить, що в даний час на ринку існує велике різноманіття автоматичних систем для годівлі великої рогатої худоби, що відрізняються призначенням, рівнем автоматизації, технічною складністю. У загальному вигляді автоматичні системи годівлі можна класифікувати наступним чином (рис. 1).

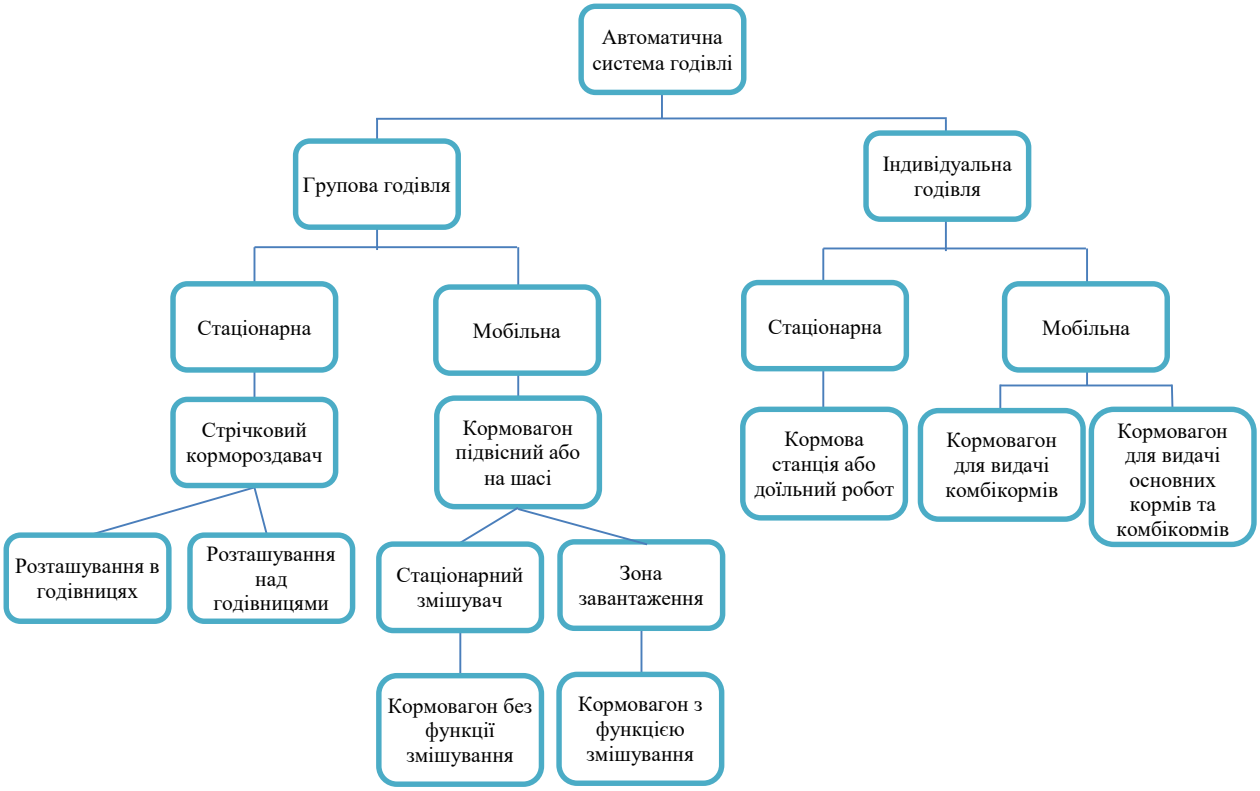


Рис. 1. Класифікація автоматичних систем для годівлі ВРХ.
Fig. 1. Classification of automatic systems for feeding cattle.

Технічно складну проблему становить диференційований розподіл найдорожчих концентрованих кормів. Технологи рекомендують згодовувати концентровані корми малими дозами шість-вісім разів на добу у суворій відповідності з продуктивністю і фазою біологічного циклу корови, тобто індивідуально кожній тварині. У вирішенні цієї проблеми існує дві взаємовиключні тенденції.

Перша полягає в точному дотриманні принципу багаторазового згодовування концентратів малими дозами. При безприв'язному способі утримання це завдання вирішується застосуванням автоматичної системи управління годівлею за допомогою автоматичних кормових станцій, що розміщуються в секціях з розрахунку одна станція на 25-30 корів.

Кормові станції розташовуються в секціях поруч з боксами для відпочинку, в місцях вільного вигулу або в проходах або на спеціально обладнаних майданчиках. Спеціальне програмне забезпечення, встановлене на комп'ютері, зв'язується з обладнанням для роздачі зазвичай за допомогою дротового, рідше - бездротового зв'язку, в тому числі за допомогою кишенькових комунікаторів з полегшеною версією програми.

Визначити, з якою саме твариною працює кормова станція, дозволяють вушні, ножні або шийні транспондери, а також антени, що вступають у взаємодію з ідентифікатором, коли тварина підходить на певну відстань до станції.

Застосування автоматизованих кормових станцій можливе тільки для концентрованих кормів, оскільки їх необхідно видавати невеликими порціями і дозовано. Перевагою є точний індивідуальний розрахунок концентратів на тварину, відповідно, це допомагає заощадити до 300 г на кожній корові щодня і дозволяє скоротити витрати на дані корми на 20-30%.

Крім цього, встановлення станцій сприяє більш раціональному використанню місця в корівнику: не треба розбивати тварин по групах для годівлі.

При індивідуальній годівлі для видачі концентратів застосовуються кормові станції (GEA DairyFeed C 8000 [2], DeLaval Feed Stations FSC40 і FSC400 [1], Lely Cosmix) (рис. 2) та спеціальні кормовагони з можливістю дозованої видачі корму (DeLaval FM і FW200, Pellon Concentrate Feeder) []. Також цю операцію можуть виконувати доїльні роботи (Lely Astronaut A4, DeLaval VMS), в боксах яких тварини отримують задану порцію корму.

Рис. 2. Автоматизована кормова станція DeLaval Feed Stations FSC40.

Fig. 2. DeLaval Feed Stations FSC40 automated feed station.

Друга тенденція полягає у відмові від індивідуального принципу розподілу концентратів і перехід на груповий принцип їх згодовування у складі кормосуміші. Оскільки концентрати в суміші невіддільні від інших її компонентів, тварини споживають їх поступово, чого і потребує фізіологія жуйних. Ця технологія може застосовуватися як при прив'язному, так і при безприв'язному способі утримання корів, але необхідно забезпечувати чіткий розподіл стада на кормові групи, сформовані виходячи з фаз межотільного циклу корів при допустимій різниці в їх продуктивності всередині технологічної групи. При дотриманні цієї умови така технологія згодовування концентратів значно простіше і дешевше, ніж їх розподіл за індивідуальним принципом.

Однією з найбільш перспективних є автоматизована система годівлі Triomatic фірми Trioliet [5]. Головною перевагою цієї системи є те, що для її безперебійної роботи необхідно лише підтримувати необхідний запас кормів, всі інші операції виконуються автоматично, відповідно до заданої програми годівлі тварин. До складу системи входить кормозаготівельне відділення і робот-кормороздавач.

У відділенні для заготівлі кормів розміщені відсіки (рис. 3) для накопичення і зберігання вихідних компонентів кормосуміші (на кілька днів). Днище кожного відсіку являє собою конвеєр, що переміщає корм до передньої частини відділення, над якою встановлено рухомий ріжучий пристрій з дисковими ножами, що відокремлює задану кількість корму із вибраного відсіку.

Рис. 3. Завантаження кормових компонентів в змішувач-кормороздавач системи Triomatic.

Fig. 3. Loading of feed components in the mixer-feeder of the Triomatic system.

Відібрані вихідні компоненти кормосуміші конвеєром подаються до підвісного робота-кормороздавача. Руху кормороздавача здійснюється по обладнаному у верхній частині корівника монорейковому шляху (рис. 4) і керується дистанційно. Автомат дозує і роздає приготовану кормосуміш відповідно до закладених в програму параметрів, що дозволяє готувати суміш для корів за індивідуальними раціонами.

Компанія Trioliet виробляє два типи кормовагонів місткістю 3 м^3 - підвісний рейковий Triomatic HP 2 300

і Triomatic WP 2 300 на шасі. Дані кормовагони оснащуються двома вертикальними шнеками.

Стримуючим фактором повномасштабної роботизації в тваринництві є висока вартість технічних засобів. Щоб фермери могли застосовувати таку техніку, вона повинна коштувати менше, ніж людська праця, забезпечувати економію робочого часу та витрат, вартість яких дозволяла б окупити інвестиції в прийнятні терміни. Застосування автоматичної системи годівлі Vector фірми Lely дозволяє збільшити продуктивність праці на 10-15%. Ця система (рис. 5) потребує контролю над процесом приготування та роздавання кормів раз на три доби.

Рис. 4. Транспортування змішувача-роздавача до тваринницького приміщення.
Fig. 4. Transportation of the mixer-dispenser to the livestock room.

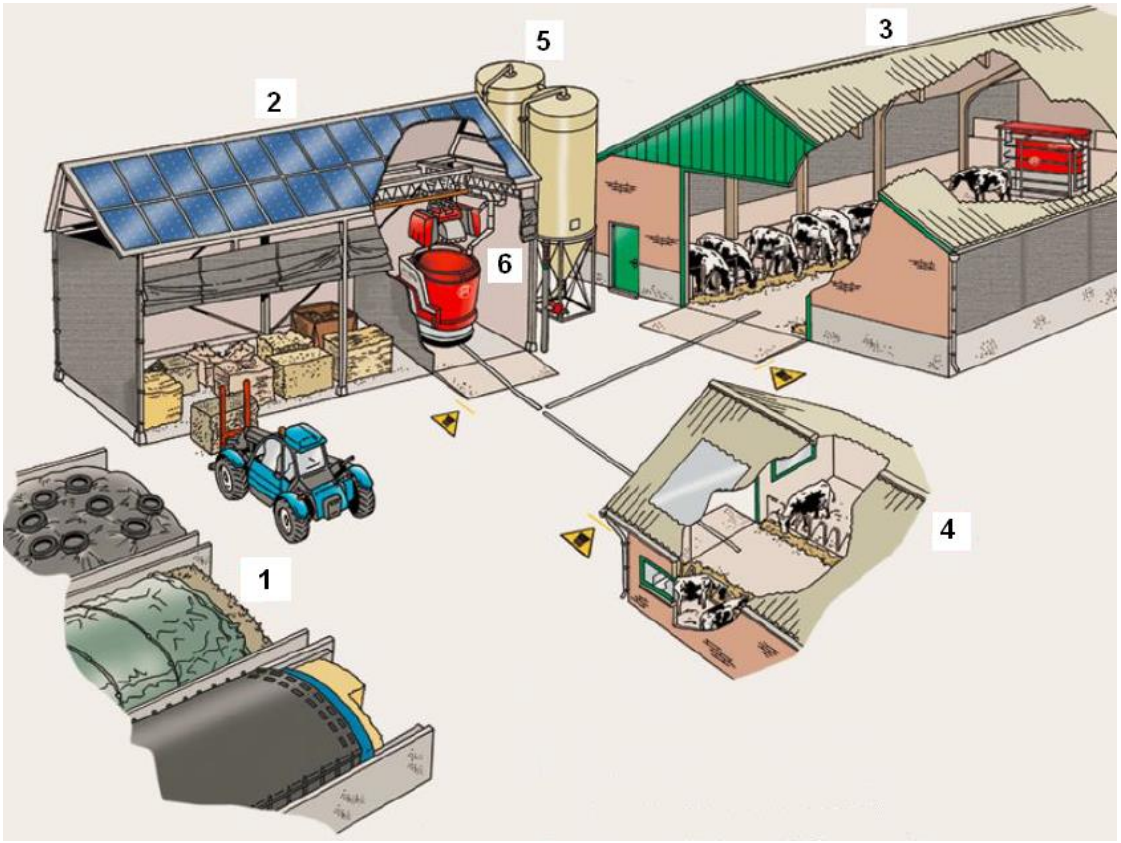


Рис. 5. Схема розміщення технологічних приміщень при використанні автоматизованої системи годування Lely Vector: 1 – кормосховище, 2 – цех приготування кормів, 3 – корівник для дійних корів, 4 – корівник для сухостійних корів і телят, 5 – бункери для комбікормів, 6 – роботи для завантажівання, приготування і роздавання кормів.

Fig. 5. Layout of technological premises when using the automated feeding system Lely Vector.

Система годівлі Lely Vector [3] складається з декількох агрегатів, керованих комп'ютером за спеціальною програмою, що дозволяє автоматично готувати багатокомпонентні кормові суміші та здійснювати роздачу цих кормових сумішей. До складу комплекту входять: навантажувач грубих кормів, дозатор кормових добавок і робот-змішувач-кормороздавач, який виконує і функцію підрівнювача кормів.

На кормовій кухні зберігаються кілька видів корму, які потім передаються пристроєм захвату корму в роботизований змішувач-роздавач (рис.6). Робот для змішування і роздавання корму в системі Lely Vector є автономним пристроєм, який працює від акумуляторної батареї, і здійснює автоматичне роздавання корму.

Рис. 6. Завантажування кормових компонентів у робот змішувач на кормовій кухні Lely Vector.
Fig. 6. Loading feed components into the robot mixer at the Lely Vector feed kitchen.

З останнім захопленням кожного виду корму система розраховує вагу і автоматично коригує роботу пристрою захоплення корму. Таким чином, корови кожної окремої групи отримують саме той корм, якого потребують.

Для програмного забезпечення Lely Vector [3, 6] потрібна тільки базова інформація про раціон. Це полегшує внесення змін до процедури подачі корму для нових груп корів. Можна легко перемістити корів з однієї групи в іншу, додати в групу телиць або створити абсолютно нову групу.

Роздавання кормів змішувачем-роздавачем відбувається до 12 разів на добу, що сприяє кращому поїданню кормів та зменшенню їх втрат, також за даними фірми зменшує кількість корів біля кормового столу. Роздавач обладнаний датчиком висоти корму - пристроєм, що визначає точну кількість корму на кормовому столі. Датчик без втручання оператора визначає, де і коли потрібен свіжий корм. Крім того, робот може підштовхувати корм до годівниці між годуваннями і одночасно визначати кількість корму, що залишився.

Фірма Pellon пропонує низку автоматизованих систем [4] з використанням монорейкових координатних роздавачів кормосумішок та концентрованих кормів (рис. 7), а також стаціонарну систему роздавання кормів з стрічковим конвеєром. Використання стрічкового конвеєра потребує ширини кормового проходу 1,5-2 м, що економить кошти при будівництві, або дозволяє збільшити площу для утримання тварин при реконструкції.

У нижній частині "човника Pellon для комбікормів" монтується поперечний шнек або стрічка. "Човник Пеллон" поміщається і може пересуватися навіть в тісних приміщеннях і обмежених кормових проходах.

Невикористана частина корму, розкидана худобою, призводить до втрат при годівлі. При одночасному роздаванні великих порцій втрати при годуванні складають приблизно 5-15%, в тому числі через погане травлення і просипания корму. Використання невеликих, точно відміряних, порцій дозволяє значно знизити втрати при годівлі.

Рис. 7. Роздавач концентрованих кормів «човник Pellon».
Fig. 7. Distributor of concentrated feed "Pellon shuttle".

Висновки

1. Практичний досвід показує, що при дотриманні всіх технологічних прийомів застосування різних видів автоматизованих систем годівлі дозволяє збільшити надої до 10% завдяки підвищенню ефективності використання кормів і збереженню здоров'я тварин.

2. Як і всі високотехнологічні рішення, автоматичні системи мають свої мінуси. В першу чергу це висока вартість (кілька десятків тисяч євро), складність в освоєнні і та необхідність мати кваліфікований персонал. Будь-яка автоматична система потребує контролю з боку фахівців, які повинні стежити за нею, коригувати раціони, вчасно проводити техобслуговування. Тому використання інтелектуальних системи на фермі зі слабким менеджментом за відсутності фахівців, здатних грамотно управляти технологічними процесами на фермі є абсолютно недоцільним.

3. Таким чином, при прив'язному способі утримання забезпечення кожної корови необхідною кількістю концентрованих кормів у відповідності з її продуктивністю та фазою біологічного циклу можливе лише при їх індивідуальному диференційованому розподілі. Можливі технічні шляхи вирішення цієї проблеми є напрямком для подальших досліджень.

Список літератури

1. Офіційний сайт DeLaval [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.delaval.com/en-ie/our-solutions/feeding/feed-stations/delaval-feed-stations-fsc40-and-fsc400/

2. Офіційний сайт GEA Farm Technologies GmbH [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.gea.com/ru/productgroups/farm-equipment/automatic-feeding/index.jsp,

3. Офіційний сайт Lely [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.lely.com/solutions/feeding/vector/

4. Офіційний сайт Pellon Group [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.pellon.fi/ru

5. Офіційний сайт Trioliet [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://products.trioliet.com/ stationary-feed-mixers.html

6. *Науменко А. А., Чигрин А. А., Палий А. П.* Роботизированные системы в животноводстве: учебное пособие. Харків.: ХНТУСХ имени Петра Василенка, 2015. 171 с.

7. *Смоляр В., Ясенецький В.* Огляд фермських комбайнів. Техніка і технології АПК. 2013. № 2. С. 14-16. Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Titapk_2013_2_7.pdf.

8. *Фененко А. І., Ткач В. В., Ткачук С. В.* Перспективи та техніко-технологічне забезпечення галузі молочного тваринництва. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 2. С. 27-35.

9. *Хмельовський В. С., Потапова С. Є.* Технологічні та технічні передумови приготування якісної кормосуміші для ВРХ. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2018. Т. 18. Вип. 2. С. 248-257.

10. *Хмельовський В. С.* Перспективні технологічні рішення підготовки кормів для згодовування рогатій

худобі. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2013. Вип. 185 (2). С. 390-394.

11. *Хмельовський В. С.* Тенденції приготування кормосумішей для корів в умовах тваринницької ферми господарства. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. 2019. Vol. 10. № 1. С. 35-40.

References

1. Official site of DeLaval (2020). [Electronic resource]. Access mode: https://www.delaval.com/en-ie/our-solutions/feeding/feed-stations/delaval-feed-stations-fsc40-and-fsc400.

2. Official site of GEA Farm Technologies GmbH (2020). [Electronic resource]. Access mode: https://www.gea.com/ru/productgroups/farm-equipment/automatic-feeding/index.jsp.

3. Lely official website (2020). [Electronic resource]. Access mode: https://www.lely.com/solutions/ feeding / vector.

4. Official site of Pellon Group (2020). [Electronic resource]. Access mode: https://www.pellon.fi/ru.

5. Official site of Trioliet (2020). [Electronic resource]. Access mode: https://products.trioliet.com/ stationary-feed-mixers.html

6. *Naumenko O. A., Chigrin A. A., Paliy A. P.* (2015). Robotic systems in animal husbandry: a textbook. Kharkiv . Petro Vasylenko KhNTUSH. 171.

7. *Smolyar V., Yasenetsky V.* (2013). Review of farm combines. Machinery and technologies of agro-industrial complex. № 2. pp. 14–16. Access mode: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/ cgiirbis_64.exe?C21 COM = 2 & I21DBN = UJRN & P21DBN = UJRN & IMAGE_FILE_DOWNLOAD = 1 & Image_file_name = PDF3 Titapk.

8. *Fenenko A. I., Tkach V. V., Tkachuk S. V.* (2015). Prospects and technical and technological support of the dairy industry. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energy of agro-industrial complex. Kyiv. Vol. 212. Issue 2. 27-35.

9. *Khmelovsky V. S., Potapova S. Ye*. (2018). Technological and technical prerequisites for the preparation of quality feed for cattle. Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University. T. 18. Vol. 2. 248-257.

10. *Khmelovsky V. S.* (2013). Promising technological solutions for the preparation of feed for feeding cattle. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: machinery and energy of agro-industrial complex. Vol. 185(2). 390-394.

11. *Khmelovsky V. S.* (2019). Trends in the preparation of feed mixtures for cows in the livestock farm. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Vol. 10. № 1. 35-40.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

В. В. Радчук, С. Е. Потапова

Аннотация. Интенсивное развитие сельского хозяйства способствовало эволюции технических средств для кормления молочного скота. Для того, чтобы иметь высокую рентабельность, недостаточно только лишь скармливать животным высококачественные корма. Современные животноводческие комплексы нуждаются в технических средствах, обеспечивающих их точное дозирование и современные способы раздачи. Применение автоматизированных систем кормления позволяет сэкономить концентрированные корма, повысить эффективность их использования и снизить риск заболеваний у коров, вызванных нарушением обмена веществ.

Практический опыт показывает, что при соблюдении всех технологических приемов применения различных видов автоматизированных систем кормления позволяет увеличить надои до 10% благодаря повышению эффективности использования кормов и сохранению здоровья животных.

При привязном способе содержания обеспечение каждой коровы необходимым количеством концентрированных кормов в соответствии с ее производительностью и фазой биологического цикла возможно лишь при их индивидуальном дифференцированном распределении.

Ключевые слова: кормление, корм, техника, технологии, крупный рогатый скот.

MODERN TECHNOLOGIES AND TECHNICAL MEANS FOR FEEDING CATTLE

V. V. Radchuk, S. Ye. Potapova

Abstract. The intensive development of agriculture contributed to the evolution of technical means for feeding dairy cattle. In order to have high profitability, it is not enough just to feed high-quality feed to animals. Modern livestock complexes need technical means to ensure their accurate dosing and modern distribution methods. The use of automated feeding systems allows to save concentrated feed, increase the efficiency of their use and reduce the risk of diseases in cows caused by metabolic disorders.

Practical experience shows that if all technological methods of using various types of automated feeding systems are observed, milk yield can be increased up to 10% due to increased feed use efficiency and preservation of animal health.

With a tethered method of keeping, providing each cow with the necessary amount of concentrated feed in accordance with its productivity and phase of the biological cycle is possible only with their individual differentiated distribution.

Key words: feeding, feed, machinery, technology, cattle.

В. В. Радчук ORCID 0000-0003-3691-7781.
С. Є. Потапова ORCID 0000-0003-3691-7745.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 145-150
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.145-150

УДК 621.793

СЕПАРАЦІЯ НАСІННЯ РІПАКУ

О. О. Богомолов

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: a_bogomolov@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 8, рис. 2, табл. 1.

Анотація. Розглянуті питання очищення насіннєвого матеріалу ріпаку від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин. Встановлено, що на пневмо-решітних сепараторах загального призначення, які як правило використовують і для очищення насіння ріпаку видаляється значна кількість насіння бур'янів, мінеральних та органічних домішок, але повністю видалити важковідокремлюване насіння таких, наприклад бур'янів як мишій, куряче просо, підмареник чипкий та інших не вдається. Запропоновано очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок проводити кидком у повітряне середовище з поданням частинкам суміші обертів, використовуючі таким чином окрім аеродинамічних властивостей під час сепарації і гіраційний ефект та ефект Магнуса.

Розраховані початкова швидкість польоту частинок суміші, кутова та окружна їх швидкість при яких можливій процес сепарації на гіраційному сепараторі.

Метою статті є визначення основних конструктивно-кинематичних параметрів процесу сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі з валками розташованими один над одним, в якому нижній валок обертається зі швидкістю більшою за верхній, а саме кутові і окружні швидкості вальців, початкову швидкість вильоту насіння, вихід очищеної фракції та енергоємність процесу сепарації.

Проведені дослідження дозволили визначити конструктивно-кінематичні параметри процесу сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі. Ці параметри такі: початкова швидкість частинок після проходу крізь вальці 3,3 м/с, кутова швидкість 1650 1/с, та окружна швидкість 1,65 м/с. Експериментальними дослідженнями встановлено, що за один прохід можна виділити із суміші до 91,1 % насіння ріпаку засміченістю до 2 %, при вихідній 6,6, тобто отримати кондиційне насіння при продуктивності до 100 кг/годину на 0,2 м довжини валка.

Ключові слова: насіння ріпаку, сепарація, гіраційний сепаратор, конструктивно-кінематичні параметри.

Постановка проблеми

Виробництво насіння ріпаку у світі з кожним роком збільшується. Підвищений інтерес до ріпаку обумовлений гарною пристосованістю цієї культури до помірного клімату, високою продуктивністю сучасних сортів прогресивною технологією оброблення, збільшенням потреб у виробництва рослинної олії та високобілкових кормів.

Так, насіння ріпаку є важливим джерелом одержання дешевої рослинної олії та високобілкових кормів. Воно містить до 40…49 % олії, 21…23 % білку, 6…7 % клітковини. Ріпакова олія належить до групи харчових використовується в натуральному вигляді, при виробництві жирів та маргарину, а також у металургійній, лакофарбовій, миловарній, текстильній промисловості.

Ріпак можна успішно вирощувати для виробництва кормів (зелена маса, сінаж, силос, трав'яне борошно) в різних посівах, у чистому вигляді та у суміші з іншими культурами. За біохімічними якостями ріпак перевершує інші кормові культури. В 1 кг зеленої маси ріпаку міститься значно більше протеїну, ніж у зеленій масі кукурудзи, соняшнику, ячменю, гороху. Протеїну в ріпаковому силосі більше, ніж у кукурудзяному, в 3 рази.

Ріпак також є гарною сидеральною культурою. Кожний гектар його зораної біомаси при середніх врожаях еквівалентний внесенню восени та навесні 45…55 тон органічних добрив. Внаслідок того, що при сидеранні необхідність у навантаженні, транспортуванні та розкиданні добрив відпадає то вона набагато вигідніше внесення гною та більш економічна.

Застосування ріпаку як сидерату може підвищити врожай озимої пшениці на 2,8 ц/га, озимого жита – на 3,5 ц/га, ярового ячменю – на 3,3 ц/га, кукурудзи – на 7,5 ц/га, силосної маси кукурудзи на 49 %, картоплі на 50 % і більше.

Озимий ріпак представляє великий інтерес як ранній медонос. Велика кількість нектару у квітках та тривале цвітіння (25…30 днів) дозволяє збирати з кожного гектара ріпаку навесні до 90 кг меду.

Ріпак є одним з кращих попередників пшениці у сівозмінах. Дослідженнями, проведеними у країнах

Західної Європи, відзначається підвищення врожайності пшениці, що оброблялась після ріпаку більш, ніж на 20% [1, 2].

Останнім часом у деяких країнах, у тому числі й в Україні, ведуться наукові дослідження питань одержання з насіння ріпаку дешевого замінника дизельного палива [3]. Недостатня вивченість питань очищення насіння ріпаку від насіння бур'янистих рослин мишію, курячого проса та інших стримують його розповсюдженість в Україні. Як показала практика насінницьких господарств, однією з основних проблем очищення насіннєвого матеріалу ріпаку є очищення його від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин. Типовою є ситуація коли, після проходження всього циклу післязбиральної обробки, вихід насіння ріпаку І класу становить 35…40 %, а ще 35…40 % повноцінного насіння, по всіх інших показниках задовольняючих вимогам стандарту, не вдається довести до рівня І класу по змісту насіння бур'янистих рослин. Розв'язок цієї проблеми дозволить суттєво підвищити забезпеченість виробничих господарств високоякісним насіннєвим матеріалом ріпаку, одержати значний економічний ефект [4].

Для сепарації насіння ріпаку використовують, як правило, пневмо-решітні сепаратори, що випускаються промисловістю для очищення зернових культур. Трієри не використовуються з-за забивання чарунок олійними домішками. Значна кількість насіння бур'янистих рослин видаляється на зазначених машин, але повністю видалити насіння таких бур'янів як мишію, курячого проса, підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого не вдається. Тому пошук методів та засобів очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок є актуального задачею.

Аналіз останніх досліджень

Поділ зернових і інших сумішей кидком у повітряне середовище, як метод сепарації відомий давно.

Для цього застосовуються кидачі сипких матеріалів різних конструкцій. Найпоширенішим є кидач, що складається з двох валків, які обертаються з однаковими кутовими швидкостями в протилежних напрямках, завантажувального пристрою привода та приймачів продуктів поділу [5].

Замість двох валків можна використовуватися один рифлений, на сутність процесу це суттєво не впливає.

Основним недоліком таких кидачів є низька якість сепарації зерна якщо вони використовуються як сепаратори, а не пристрої для його переміщення.

Для підвищення якості сепарації зерна методом кидка в повітряне середовище в запропоновано використовувати й обертовий рух часток суміші, тобто використовувати для сепарації гіраційний ефект і ефект Магнуса. Гіраційний сепаратор запропонований в [6] має значні конструктивні переваги, які полягають у зниженні габаритних розмірів сепаратора та підвищенні якості сепарації насіннєвих сумішей. Схема цього сепаратора представлена на рис. 1.

Сепаратор складається з робочого органа, виконаного з верхнього *1* і нижнього *2* валків, бункера *3* і приймачів продуктів поділу *4*. Привод валків з метою забезпечення можливості регулювання частоти обертання здійснюється від електродвигунів постійного струму. Можливо також конструктивне виконання привода від електродвигунів змінного струму через варіатор та клинопасову передачу. На рис. 2 представлений загальний вид гіраційного сепаратора.

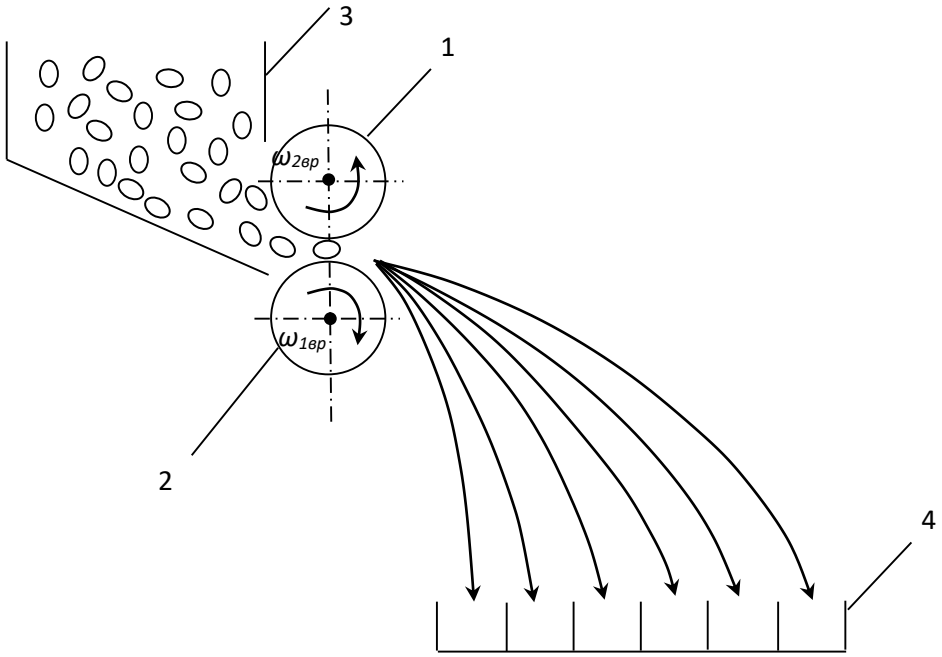


Рис. 1. Принципова схема гіраційного сепаратора: 1 – верхній валок, 2 – нижній валок, 3 – бункер, 4 – приймачі продуктів поділу.

Fig. 1. Schematic diagram of the gyration separator: 1 – upper roll, 2 – lower roll, 3 – hopper, 4 – receivers of separation products.

Рис. 2. Загальний вид гіраційного сепаратора.
Fig. 2. General view of the gyration separator.

Мета досліджень

Метою даних досліджень є визначення основних конструктивно-кінематичних параметрів процесу сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі.

Результати досліджень

При сепарації зернової суміші в гіраційному сепараторі використовується в сукупності сім ознак подільності: питома вага, довжина, ширина, товщина, форма, шорсткість і аеродинамічні властивості часток. Значимість кожного з ознак проявляється в різному ступені залежно від виду й характеристик зернової суміші, а також режимів руху частки – частоти її обертання й поступальної швидкості.

На зерно що рухається й одночасно обертається в повітряному потоці, крім сили ваги й сили лобового опору, діє ще й сила Магнуса ($f_м$), яка відхиляє траєкторію зерна, що обертається від траєкторії зерна, яке не обертається (у випадку падіння від прямої лінії) убік, де вектор лінійної швидкості зерна, що обертається збігається з вектором швидкості повітряного потоку, що набігає. При цьому, чим більше буде частота обертання частки, тим більше сила Магнуса. Тому зерна з більшою частотою обертання будуть відхилятися більше, ніж зерна з меншою частотою або ті що зовсім не обертається. Необхідно також відзначити, що зерна, поперечний переріз яких відрізняється від кругового (плоскі, витягнуті й т.п.), при виході з міжвалкового зазору або зовсім не одержують обертання, або закручуються менше, чим зерна, форма яких близька до кругової. Тому вони в повітряному потоці будуть переміщатися з меншим відхиленням і впадуть в приймачі розташовані, ближче до осі живильника, тобто в ті які розміщені ближче до осі робочого органа.

При цьому якщо частота обертання верхнього валка менше ніж нижнього, то частки, що мають більшу частоту обертання, завдяки силі Магнуса й поступальної швидкості, переміститься в далекі від живильника приймачі, а частки з меншою частотою обертання надходять у приймачі, розташовані ближче.

Зазор між вальцями сепаратора вибирається меншим середнього діаметра сепаруємих часток для забезпечення їхньою захвату в робочу зону. При цьому частка виконує два рухи: обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю ω_0 і рухається поступально зі швидкістю V_0. Вальці з радіусами $R_{вр1}=R_{вр2}=R$ з кутовими швидкостями $\omega_{1вр}$ і $\omega_{2вр}$ відповідно.

Радіус частки – r. Позначимо окружні швидкості вальців V_1 і V_2. Тоді

$$V_1 = \omega_{1вр} R_{вр1}; \qquad V_2 = \omega_{2вр} R_{вр2}. \tag{1}$$

З кінематичних міркувань будемо мати:

$$V_0 = \frac{1}{2}(V_1 + V_2) = \frac{R_{вр1}}{2}(\omega_{1вр} + \omega_{2вр}); \qquad \omega_{0вр} = \frac{1}{2r}(V_1 - V_2) = \frac{R_{вр2}}{2r}(\omega_{1вр} - \omega_{2вр}). \tag{2}$$

Співвідношення (2) дають можливість обчислювати з урахуванням геометричних розмірів і частот обертання вальців поступальну й обертальну швидкості частки на початку її польоту.

З аеродинаміки відомо [5, 7], що ефект Магнуса в максимальному ступені проявляється за умови

$$U = 4 \cdot V_0, \tag{3}$$

де U – окружна швидкість обертання частки, м/с.

У нашому випадку $U = \omega_{0вр} \cdot r = \frac{\pi r n_0}{30}$.

Звідки з урахуванням (3)

$$n_0 = \frac{120 \cdot V_0}{\pi \cdot r}. \tag{4}$$

Остаточно одержимо

$$\frac{n_2}{n_1} = 0{,}6. \qquad (5)$$

Для прикладу були проведені розрахунки початкової, кутової і окружної швидкостей вильоту насіння ріпаку після проходження через вальці при частоті обертання верхнього вальця n_1=90 с$^{-1}$, нижнього – n_2=150 с$^{-1}$і зазору між вальцями $1\cdot10^{-2}$ м.

При цьому кутові швидкості вальців (*$\omega_{вр}$, 1/с)* будуть відповідно рівні

$$\omega_{1вр} = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{\pi}{30}900 \approx 90 \ {}^{1}\!/_{c} \text{ і}$$

$$\omega_{2вр} = \frac{\pi n_2}{30} = \frac{\pi}{30}1500 \approx 150 \ {}^{1}\!/_{c}.$$

Окружна швидкість (V, м/с) верхнього вальця становить:

$$V_1 = \omega_{1вр} \cdot R = 90 \cdot 0{,}0275 = 2{,}475 \ {}^{м}\!/_{с};$$

а нижнього

$$V_2 = \omega_{2вр} \cdot R = 150 \cdot 0{,}0275 = 4{,}125 \ {}^{м}\!/_{с},$$

де *R* – радіус вальців, м; *R=0,0275* м;

V_1, V_2 – окружні швидкості вальців, м/с.

Враховуючи окружні швидкості вальців, можна розрахувати початкову (*V_0, м/с)*, кутову *($\omega_{вр}$, 1/с)* і окружну (*u, м/с*) швидкості польоту насіння ріпаку.

Початкова швидкість (*V_0, м/с)* вильоту насіння ріпаку становить:

$$V_0 = \frac{1}{2}(V_1 + V_2) = \frac{1}{2}(2{,}475 + 4{,}125) = 3{,}3 \ {}^{м}\!/_{с}$$

Кутова швидкість *($\omega_{0вр}$ 1/с)* насіння ріпаку становить:

$$\omega_{0вр} = \frac{1}{2r}(V_2 + V_1) = \frac{1}{2 \cdot 0{,}001}(4{,}125 - 2{,}475) = 1650{,}0 \ {}^{1}\!/_{c}.$$

де *r* – радіус насіння ріпаку, м; *r=0,001* м.

Тоді окружна швидкість (*u, м/с*) насіння ріпаку

$$u = \omega_{0вр} \cdot r = 1650 \cdot 0{,}001 = 1{,}65 \ {}^{м}\!/_{c}.$$

Насіння ріпаку при проході крізь вальці отримують початкову швидкість польоту, рівну 3,3 м/с, кутову швидкість – 1650 1/с і окружну швидкість – 1,65 м/с.

В таблиці 1 представлені результати експериментальних досліджень процесу сепарації насіння ріпаку засміченістю 6,6 % з урахуванням здрібненого насіння ріпаку.

Таблиця 1. Результати сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі.
Table 1. The results of separation of rapeseed on a gyration separator.

Найменування показників	Номера фракцій (приймачів)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Розподіл суміші по фракціях, %	1,2	0,3	0,6	2,1	2,7	15,4	70,2	7,5
Насіння ріпаку, %					2,3	14,7	69,1	7,3
Легкі домішки, %	1,2	0,3	0,6					
Здрібнене насіння ріпаку, %		0,9	0,7	0,5				
Бур'яниста домішка, %					0,4	0,7	1,1	0,2

З табл.1. видно, що легкі домішки (пил, полова, шматочки стебел і т.п.) потрапили в перші чотири приймачі. В 5-8 приймачі потрапили насіння ріпаку й бур'яниста домішка. Аналіз таблиці показує, що при об'єднанні вмісту 6-8 приймачів можна одержати 91,1 % насіння ріпаку із засміченістю до 2 %. Продуктивність сепаратора становила 90 кг/годину, при довжині валків 0,2 м.

Енергоємність процесу сепарації з використанням гіраційного ефекту та ефекту Магнуса визначали експериментально на розробленому гіраційному сепараторі при частоті обертання верхнього вала 90 с$^{-1}$, нижнього – 150 с$^{-1}$. У результаті випробувань встановлено, що питома витрата енергії на процес сепарації становить усього 0,11 кВт·г/т, що в 2,5 рази менша, ніж у пневматичних сепараторів і більш ніж у 30 разів нижча, за пневмосортувальні столи.

Висновки

1. Таким чином проведені дослідження дозволили визначити конструктивно-кінематичні параметри процесу сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі. Ці параметри такі: початкова швидкість частинок після проходу крізь вальці 3,3 м/с, кутова швидкість 1650 1/с, та окружна швидкість 1,65 м/с.

2. Експериментальними дослідженнями встановлено, що за один прохід можна виділити із суміші до 91,1 % насіння ріпаку засміченістю до 2 %, тобто отримати кондиційне насіння при продуктивності до 100 кг/годину на 0,2 м довжини валка.

Список літератури

1. *Скрыпник А. В.* О программе развития агропромышленного сектора юго-восточной части Украины до 2003 года. Збірник наукових праць інституту олійних культур УААН, 1999. Вип. 4. С. 213–216.

2. *Лукьяненко В. М.* Обоснование параметров процесса сепарации семян рапса и сурепки на вибрационной машине: Автореф.дис., канд.техн наук: 05.05.11 Харковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. Харьков, 2001. С. 20.

3. *Серебряный М. И.* Тракторные дизели работают на растительном топливе. Тракторы и

сельскохозяйственные машины.1992. № 3. С. 42–44.

4. *Богомолов О. О.* До питання сепарації насіння ріпаку. Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. Харків. 2016. Вип. № 179. С. 59–63.

5. А.с. №994365. СРСР. B65G31/04 Опубл.7.02.83 Бюл.№5.

6. Деклараційний патент №63054 А Україна, МКВ B07 B7/01, B07B13/10. Спосіб сепарування сипких матеріалів та пристрій для його здійснення: Богомолов О. В. №2002043080, Заявл. 16.04.2002. Опубл. 15.01.2004. Бюл. №1.

7. *Karintsev I. B.* Hydroaeroelasticity [Text]: textbook. Sumy: Sumy State Univ., 2017. 234. ISBN 978-966-657-692-0.

8. *Богомолов А. В.* Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей: монография. Харков: ХНТУСГ имени Петра Василенка. 2013. 308 с.

References

1. *Skrypnik A. V.* (1999). On the program for the development of the agricultural sector of the south-eastern part of Ukraine until 2003. Collection of scientific works of the Institute of Oilseeds UAAS, Vol. 4. P. 213–216.

2. *Lukyanenko V. M.* (2001). Justification of the parameters of the process of separation of rapeseed and colza seeds on a vibrating machine: Avtoref.dis., Candidate of technical sciences: 05.05.11 Kharkiv Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture. Kharkov, P. 20.

3. *Serebryaniy M. I.* (1992). Tractor diesels run on vegetable fuel. Tractors and agricultural machinery. No. 3.P. 42–44.

4. *Bogomolov O. O.* (2016). On the issue of separation of rapeseed. Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production: Bulletin of KhNTUSG. Kharkiv. Issue 179. P. 59–63.

5. A.s. №994365. USSR. B65G31/04 Publ.7.02.83 Bull.№5.

6. Declarative patent №63054 A Ukraine, MKV B07 B7 /01, B07B13/ 10. The method of separation of bulk materials and device for its implementation: Bogomolov O. V. №2002043080, Application. 16.04.2002 Publ. 15.01.2004 Bulletin.№1.

7. *Karintsev I. B.* (2017). Hydroaeroelasticity [Text]: textbook. Sumy: Sumy State Univ. 234 p. ISBN 978-966-657-692-0.

8. *Bogomolov A. V.* (2013). Separation of hard to separate bulk mixtures. Monograph. Kharkov: KhNTUSG named after Petro Vasilenka. 308 p.

СЕПАРАЦИЯ СЕМЯН РАПСА

О. О. Богомолов

Аннотация. Рассмотрены вопросы очистки семенного материала рапса от трудноотделимых семян сорных растений. Установлено, что на пневмо-решетных сепараторах общего назначения, которые как правило используют и для очистки семян рапса удаляется значительное количество семян сорняков, минеральных и органических примесей, но полностью удалить трудноотделяемые семена таких, например сорняков как щетинник сизый, куриное просо, подмаренник цепкий и других не удается. Предложено очистку семян рапса от трудноотделяемых примесей проводить броском в воздушно среду с приданием частичкам смеси вращения, используюя таким образом кроме аэродинамических свойств при сепарации также гирационный эффект и эффект Магнуса.

Рассчитаны начальная скорость полета частиц смеси, угловая и окружная их скорость, при которых возможен процесс сепарации на гирационном сепараторе.

Целью статьи является определение основных конструктивно-кинематических параметров процесса сепарации семян на гирационном сепараторе с валками расположенными друг над другом, в котором нижний валок вращается со скоростью большей чем у верхнего, а именно угловые и окружные скорости вальцов, начальную скорость вылета семян, выход очищенной фракции и энергоемкость процесса сепарации.

Таким образом проведенные исследования позволили определить конструктивно - кинематические параметры процесса сепарации семян на гирационном сепараторе. Эти параметры таковы: начальная скорость частиц после прохода через вальцы 3,3 м/с, угловая скорость 1650 1/с, и окружная скорость 1,65 м/с. Экспериментальными исследованиями установлено, что за один проход можно выделить из смеси до 91,1% семян засоренностью до 2%, при исходной 6,6 %, то есть получить кондиционные семена при производительности до 90 кг / час на 0,2 м длины валка.

Ключевые слова: семена рапса, сепарация, гирационный сепаратор, конструктивно-кинематические параметры.

RAPESEED SEPARATION

O. O. Bogomolov

Abstract. The issues of purification of rapeseed from heavy weeded seeds have been considered. It has been established that general purpose pneumatic separator separators, which are generally used to cleanse rapeseed seeds, remove significant amounts of weed, mineral and organic impurities, but completely remove heavyseparate seeds such as weeds such as mice, chicken millet, the submarine is fragile and the others fail. It is suggested to cleanse rapeseed from heavy impregnated impurities by throwing it into the air with a mixture of rotating particles, thus using, in addition to the aerodynamic properties during the separation, the gyrating effect and the Magnus effect.

The initial flight velocity of the particles of the mixture, the angular and circumferential velocities at which the separation process at the gyratory separator is possible are calculated.

The purpose of the article is to determine the basic structural-kinematic parameters of the process of separation of rapeseed on a gyratory separator with rolls located one above the other, in which the lower roll rotates at a speed greater than the upper, namely angular and

circumferential speeds of the rolls, the initial speed of departure of seeds, exit and the energy intensity of the separation process.

Thus, the studies made it possible to determine the structural-kinematic parameters of the process of separation of rapeseed on a gyratory separator. These parameters are: the initial velocity of the particles after passing through the rollers 3.3 m/s, the angular velocity 1650 1/s, and the circumferential velocity of 1.65 m/s. Experimental studies have established that up to 91.1 % of rapeseed can be separated from the mixture by up to 2 % at the initial 6.6 %, in one pass, ie to obtain conditioned seeds at a productivity of up to 100 kg/h for 0.2 m of roll length.

Key words: rapeseed, separation, gyratory separator, structural-kinematic parameters.

О. О. Богомолов ORCID 0000-0001-8297-2708.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 151-156
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.151-156

УДК 621.867.133

CRITERIA FOR EVALUATION OF EFFICIENCY OF USING MACHINES IN AGRICULTURAL COMPLEX

L. L. Titova

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine.

Speciality of article: 133 – industry engineering.

Corresponding author: l_titova@nubip.edu.ua

Article history: Received – January 2020, Accepted – April 2020.
Bibl. 19, fig. 2, tabl. 1.

Abstract. Comprehensive assessment of the use of grain harvesters is the result of simultaneous and coordinated research of a set of private qualitative and quantitative indicators that reflect the main aspects of operation of grain harvesters in given economic conditions, and generalized conclusions on the results of comparing actual values of private indicators with basic in previous periods in different conditions, desirable, etc.). The need for a comprehensive assessment of the use of grain harvesters arose based on the requirements of comparing the results of a single grain harvester or several machines combined into a harvesting unit or harvesting complex, not only on individual indicators, but also on a generalized criterion.

The main task of research into the efficiency of technical systems, including grain harvesters, is to choose a strategy for using machines that provides the best results in these conditions. To date, when choosing a strategy for a given operation, the criteria of minimum cost, minimum labor costs or maximum useful effect, such as productivity, are most often used.

Analysis of scientific research of many domestic and foreign scientists has shown that the easiest to determine, but reliable are the indicators that take into account the functioning of the machine over time. Such indicators include, first of all, the most common and fairly universal technical and economic indicator of machine performance, as well as the utilization rate of change time, indicators of machine reliability, etc. These indicators are applicable to assess the use of the entire fleet of grain harvesters. Widely used indicators have not only advantages in their use, but also disadvantages.

Key words: criterion, grain harvesting machine, harvesting and transport complex, grain culture, efficiency.

Introduction

To date, widely used in feasibility studies of various technological processes, including harvesting cereals, techniques developed in the early 20th century [1], taking into account the minimum full cost of a given operation or use of the machine [2].

Formulation of problem

Thus [3], when using the criterion – the minimum cost [4], first calculate the direct operating costs for harvesting cereals according to formula (1), and then they are attributed to the harvested area or to the gross grain harvest [5]:

$$C = C_s + C_d + C_{MR} + C_{AM} + C_{aw}, \quad (1)$$

where C_s – salaries of combine harvesters, UAH;

C_d – depreciation deductions for the renovation of a combine harvester, UAH;

C_{MR} – costs for repair, maintenance and storage of combines, UAH;

C_{AM} – cost of consumables (fuel, lubricants and auxiliary materials), UAH;

C_{aw} – cost of ancillary works (transportation and refueling, lubricants, etc.), UAH.

The choice of combine harvesters when updating the fleet of combine harvesters [6] is recommended to be carried out according to the following main criteria: the degree of reduction of the cost of work [7], reducing the need for fuel and mechanization [8].

Then methods were used based on determining the efficiency of capital investments [9], or its inverse value – the payback period [10].

Analysis of recent research results

A number of works have been published, in which a comparison of technological processes in crop production taking into account energy consumption is given [11].

Thus, in the research [12] the minimum energy consumption is estimated taking into account the number of technical means involved in the technological process (TP) and their energy saturation (Nt power of the internal combustion engine) [13]:

$$\sum(n_m \cdot N_m) \rightarrow min. \quad (2)$$

Scientists have formed a whole group of individual performance indicators, which were defined as the ratio of economic result (or effect) to one of the indicators of economic resource or their corresponding growth [14].

The indicators of economic resources include, in

particular:

- labor costs (estimated productivity) [15];
- production assets (estimated rate of return) [16];
- capital investments (the efficiency of capital investments is estimated taking into account the growth of production) [17].

The unit of profitability of production was also used as a unit indicator of efficiency [18].

All of the above indicators suggest a cost principle in assessing efficiency. These criteria are somewhat one-sided, but in some cases they are quite acceptable [19].

Purpose of research

The purpose of these studies is to determine the criteria for assessing the effectiveness of the use of machines in the agro-industrial complex.

Results of research

Proposed and applied to the comparison of combine harvesters Don-1500B, Don-2600 and Western 8570 a comprehensive indicator in the form of a function of the quality of the combine, which represents the volume of the triangular pyramid in space

$$V = \frac{1}{6}XYZ, \quad (3)$$

where X, Y, Z – respectively, the loss, crushing and clogging of the grain, deposited in space in Cartesian rectangular coordinates.

In the study it is proposed to evaluate the agrotechnological efficiency of combine harvesters according to the generalized criterion, which is defined as the average value of combine throughput of all maximum values of this indicator obtained for possible combinations of grain harvesting conditions in this soil-climatic zone. However, this generalized criterion of efficiency can be used only with a significant amount of statistical information.

From the known researches at calculation of standard sizes of grain harvesters for different regions of Ukraine apply the generalized zonal coefficient Kz that considers humidity of straw, clutter and fallowness by a stalk and unevenness of a crop on length of a run. This article presents the values of short circuits for the regions of Ukraine, table 1.

Table 1. The value of the generalized zonal coefficient.

Regions of Ukraine	*Kz*
Kyiv	0.82
Cherkasy	0.71
Vinnitsa	0.92
Poltava	0.82
Zhitomir	0.78
Mikolayiv	0.67

However, the coefficient Kz takes into account the indicators of the state of the crop being harvested and does not take into account one of the most important indicators of the work of combine harvesters in the economy, the intensity of their use. The article proposes a universal (in the opinion of the authors of the article) indicator of combine operation, which is defined as the ratio of the share of gross grain threshing by a combine or a group of combines in total threshing by all combines to the share of one combine or group of combines in the combine fleet. This indicator is called the lead factor by the authors of the work. The advance coefficient was determined for 13 groups of combines that differ in seasonal grain threshing. This factor is used to characterize combine harvesters. However, it is difficult to use it as an indicator of assessing the conditions of use of combine harvesters.

Very often, to compare the use of combine harvesters, a target function is used that takes into account the minimum loss or crushing of grain.

Scientists have developed various methodological approaches to modeling the efficiency of combine harvesters. Thus, in the criterion of losses of efficiency Kl take into account the consumer properties of combine harvesters (P_1, P_2, ..., P_i); conditions of the agricultural producer ($Y_1, Y_2, ..., Y_k$) and external conditions ($B_1, B_2, ..., B_n$):

$$K_B = f(P_1, P_2, \dots, P_i, Y_1, Y_2, \dots, Y_k, B_1, B_2, \dots, B_n) \quad (4)$$

However, quite often there are situations of uncertainty when choosing a criterion of effectiveness. In this case, it is necessary to apply additional principles or rules for selecting the criterion of effectiveness. The criterion of efficiency is made on the basis of one of the following concepts of rational selection of decisions: suitability, optimization, adaptation [].According to the concept of suitability, any solution will be rational if the value of the selected performance indicator is not below the required level W^{nl}, that is

$$W(u) \geq W^{nl}, u \in U, \quad (5)$$

where U – many possible solutions.

According to the concept of optimization, a rational solution will be one that provides maximum effect

$$W(u^*) \geq \max W(u), u \in U. \quad (6)$$

According to the concept of adaptation, it is possible to quickly respond to current or projected information to achieve a given result under changing conditions of this operation.

According to the concept of adaptation, the result is considered the best u (t) of the many U (t, τ). The condition is fulfilled:

$$W_t(u^*(t), \tau) \geq W_t^{nl} W(u(t), \tau), u(t) \in U(t, \tau) \quad (7)$$

where t – time, τ – ahead of the forecast.

Of the above concepts of rational choice of solutions to date, the most developed concept of suitability.

When choosing a method of harvesting cereals depending on the load on one unit during the season took into account 5 private indicators: the rate of harvesting cereals on the farm (Rh), the probability of harvesting machine technological operation during the shift (P0), biological yield of cereals (By), losses (Lg) and injury of grain (Ig) by harvesting units.

For each selected private performance indicator, the ratio of its actual value was calculated W_μ to the necessary W_μ^{nl}.

$$K_\mu = W_\mu / W_\mu^{nl} \quad (8)$$

For the ideal technology of harvesting grain crops all value $W_\mu = W_\mu^{nl}$ that is K_μ=1.

In this case, the ideal assembly technology is conventionally represented by a polygon with the number of angles equal to the number of private efficiency indicators. In this case, the angles of the polygon are placed on the axes of private indicators with coordinates equal to 1 (Fig. 1). The starting point K_μ of the minimizing indicators in the center of the intersection of the axes, and maximizing on the outer circle. After calculating the value of K_μ for real assembly technologies, polygons are constructed for the considered assembly technologies.

The technology of harvesting cereals was compared by a generalized factor:

$$\mu_0 = S_C/S_u;\ \mu_0 \geq 1, \quad (9)$$

where S_C, S_u - areas relating to comparable and ideal harvesting technologies.

The closer μ0 to 1, the more efficient the harvesting technology.

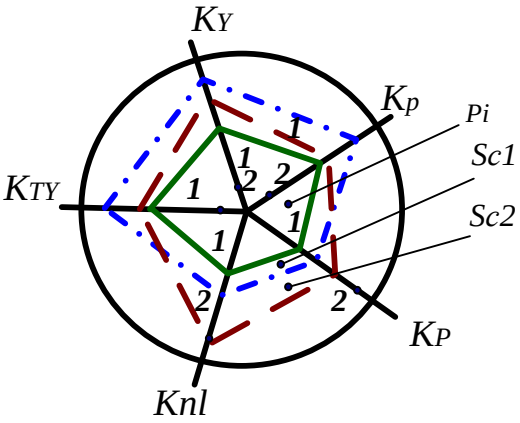


Fig. 1. Multicriteria evaluation model.

When comparing the efficiency of serial combine harvester and experimental, equipped with a device for pre-threshing grain, the complex criterion took into account the biological yield of grain, which was collected and the proportion of crushed grain [].

When choosing the most efficient technology for harvesting sorghum sorghum, the maximum effect and minimum costs are formalized as follows:

$$\begin{cases} u^*: \max\varphi\big(K(u)\big); \\ \quad u \in U \\ K_1(u) \geq 1; \\ K_2(u) \leq 1, \end{cases} \quad (10)$$

where

$$K_1 = \prod_{i=1}^{m_1} \frac{W_i}{W_i^{\text{нр}}}$$

$$K_2 = \prod_{i=m_1+1}^{m} \frac{W_i}{W_i^{\text{нр}}}$$

Dependence (10) is presented in the form of a graph (Fig. 2).

In fig. 2 characters U_1, U_2, ..., U_8 the cost-effect ratio for possible sorghum harvesting technologies is shown. The zone of effective sorghum harvesting technologies is zone A (see Fig. 2), and the best of the two technologies U_3 and U_4 is the technology U_3, as it meets the condition K_1>1, K_2<1, and the value of K_1 for U_3 is greater than for U_4, the value of K_2 for U_3 is less than for U_4.

The cost of transportation of hay rolls in a comprehensive criterion is appropriate if the difference between the components (one or more) operating costs that determine the cost of comparable technologies, more than 10%.

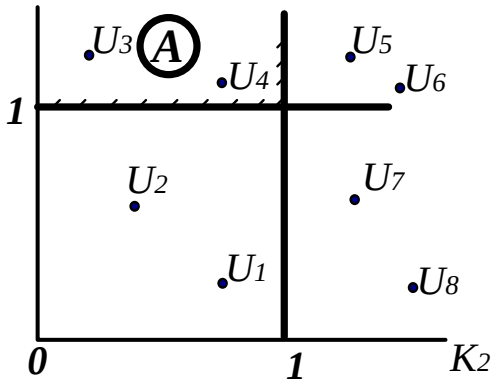


Fig. 2. Scheme of the method "cost – effect".

At a complex estimation of quality of work of grain harvesters used two unit indicators of loss of grain on the combine direct Lg and crushing Lcr.

We present a comprehensive criterion of efficiency in the form of:

$$k_E = m\left\{\frac{P_g^{al} P_{cr}^{al}}{\gamma_1\gamma_2 P_g P_{cr}}\right\}$$

where P_g^{al}, P_{cr}^{al} – respectively, the allowable levels of direct losses and grain crushing, γ_1, γ_2 – respectively, the coefficients of relative importance of direct losses and grain crushing.

Conclusions

1. Thus, when assessing the efficiency of agricultural machinery is currently the most commonly used concept of suitability, on the basis of which the criterion of efficiency is developed, taking into account the actual and desired level of private indicators that are part of it.

2. It is proposed to carry out a comprehensive assessment of the efficiency of grain harvesting machines according to the generalized criterion, taking into account the values of its private indicators and their relative importance.

References

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 1166-1172.

2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 158-163.

3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 79-84.

4. *Masek J., Novak P., Jasinskas A.* (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 1180-1185.

5. *Rogovskii I., Grubrin O.* (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. *Viba J., Lavendelis E.* (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, 95-98.

7. *Luo A.C.J., Guo Y.* (2013). Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag. 213.

8. *Astashev V., Krupenin V.* (2017). Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 108-113.

9. Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 64-74.

10. *Drga R., Janacova D., Charvatova H.* (2016). Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. *Novotny J.* (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, 16-20.

12. *Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P.* (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 407-441.

13. *Rogovskii I. L.* (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No 3, 181-187.

14. *Rogovskii I. L.* (2019). Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No 4, 145-150.

15. *Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii*. (2014). The effectiveness of technical exploitation of the forest MES. MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. Vol. 16, № 3. 313-321.

16. *Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii*. (2015). Improving the recovery efficiency of machines for forestry work. MOTROL. Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 17, № 3. 298-310.

17. *Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii*. (2017). System of control of parameters technical condition of machines for forestry work. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. 73-82.

18. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor.* (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, 291-298.

19. *Titova L. L., Rogovskii I. L.* (2017). Technology recovery of power device of machines for forestry work. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. No 258. 369–380.

Список літератури

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 1166-1172.

2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 2017, pp. 158-163.

3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 2018, pp. 79-84.

4. *Masek J., Novak P., Jasinskas A.* Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 1180-1185.

5. *Rogovskii I., Grubrin O.* Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 2018, pp. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. *Viba J., Lavendelis E.* Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, pp. 95-98.

7. *Luo A.C.J., Guo Y.* Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.

8. *Astashev V., Krupenin V.* Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 108-113.

9. Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I. Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 2018, pp. 64-74.

10. *Drga R., Janacova D., Charvatova H.* Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. *Novotny J.* Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2016, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, pp. 16-20.

12. *Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P.* Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 2016, pp. 407-441.

13. *Rogovskii I. L.* Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 181-187.

14. *Rogovskii I. L.* Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 4, P. 145-150.

15. *Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii*. The effectiveness of technical exploitation of the forest MES. MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. 2014. Vol. 16, № 3. P. 313–321.

16. *Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii*. Improving the recovery efficiency of machines for forestry work. MOTROL. Motorization and Energetics in Agriculture. 2015. Vol. 17, № 3. P. 298–310.

17. *Lyudmila Titova, Ivan Rogovskii*. System of control of parameters technical condition of machines for forestry work. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin–Rzeszów. 2017. Vol. 17. No 3. P. 73–82.

18. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor*. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

19. *Titova L. L., Rogovskii I. L.* Technology recovery of power device of machines for forestry work. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 2017. No 258. P. 369–380.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИН В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Л. Л. Титова

Аннотация. Комплексная оценка использования зерноуборочных машин является результатом одновременного и согласованного исследования совокупности частных качественных и количественных показателей, отражающих основные аспекты эксплуатации зерноуборочных машин в заданных хозяйственных условиях, и обобщенные выводы о результатах сравнения фактических значений частных показателей с базовыми (плановыми, нормативными, лучшими из полученных в предыдущие периоды в разных условиях, желанными и т.п.). Необходимость комплексной оценки использования зерноуборочных машин возникла исходя из требований сопоставления результатов работы отдельной зерноуборочной машины или нескольких машин, объединенных в уборочную звено или уборочно-транспортный комплекс, не только за отдельными частными показателями, но и по обобщенному критерию.

Основной задачей исследований эффективности технических систем, в том числе и зерноуборочных машин, заключается в выборе стратегии использования машин, которая обеспечивает лучший результат в данных условиях. К настоящему времени при выборе стратегии выполнения заданной операции чаще всего применяют критерии минимальной себестоимости, минимальных затрат труда или максимального полезного эффекта, например, производительности труда.

Ключевые слова: критерий, зерноуборочная машина, уборочно-транспортный комплекс, зерновая культура, эффективность.

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИН В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

Л. Л. Тітова

Анотація. Комплексна оцінка використання зернозбиральних машин є результатом одночасного і узгодженого дослідження сукупності приватних якісних і кількісних показників, що відображають основні аспекти експлуатації зернозбиральних машин в заданих господарських умовах, і узагальнені висновки про результати порівняння фактичних значень приватних показників з базовими (плановими, нормативними, найкращими з отриманих в попередні періоди в різних умовах, бажаними і т.п.). Необхідність комплексної оцінки використання зернозбиральних машин виникла виходячи з вимог зіставлення результатів роботи окремої зернозбиральної машини або декількох машин, об’єднаних в збиральну ланку або збирально-транспортний комплекс, не тільки за окремими приватними показниками, а й за узагальненим

критерієм.

Основним завданням досліджень ефективності технічних систем, в тому числі і зернозбиральних машин, полягає у виборі стратегії використання машин, яка забезпечує найкращий результат в даних умовах. До теперішнього часу при виборі стратегії виконання заданої операції найчастіше застосовують критерії мінімальної собівартості, мінімальних витрат праці або максимального корисного ефекту, наприклад, продуктивності праці.

Ключові слова: критерій, зернозбиральна машина, збирально-транспортний комплекс, зернова культура, ефективність.

Л. Л. Тітова ORCID 0000-0001-7313-1253.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 157-164
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.157-164

УДК 631.362

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ РІПАКУ СЕПАРАТОРОМ УДАРНОЇ ДІЇ

М. В. Брагінець[1], В. Т. Дмитрів[2], В. С. Хмельовський[3], О. В. Богомолов[1], О. О. Богомолов[1]

[1]Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна.
[2]Національний університет «Львівська політехніка», Україна.
[3]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: brnivl2020@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 16, рис. 6, табл. 0.

Анотація. Розглянуті питання використання насіння ріпаку на корм в тваринництві та його підготовка в технологічній лінії, шляхом очищення насіння ріпаку від важковідокремлюванного насіння бур'янистих рослин. Встановлено, що на пневмо-решітних сепараторах загального призначення, які, як правило, використовують для очищення насіння ріпаку, видаляється значна кількість насіння бур'янів, мінеральних та органічних домішок але повністю видалити важковідокремлюване насіння, таких бур'янів як, наприклад: мишій, куряче просо, підмаренник чіпкий та інших не вдається.

Наведені дані про використання продуктів переробки насіння ріпаку на корм свиням та великій рогатій худобі, наприклад, ріпакова макуха, що використовується у складі комбікормів, дозволяє підвищити молочну продуктивність корів та знизити втрати праці на одну одиницю продукції до 5…14 %.

Запропоновано проводити очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок за допомогою багатоярусного сепаратора ударної дії.

В статті проведено моделювання процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії. Розглянуто рух частинки ідеалізованої, у вигляді матеріальної точки при співударянні її з похилими, в поздовжньому та поперечному напрямках, деками сепаратора ударної дії.

Розрахована теоретична продуктивність сепаратора ударної дії, яка складає 8…30 кг/год. для одного модуля.

Проведені дослідження дозволили визначити конструктивні параметри багатоярусного ударного сепаратора та розрахувати його продуктивність.

Ключові слова: насіння, ріпак, сепарація, макуха, шрот, моделювання, удар.

Постановка проблеми

При використанні насіння ріпаку у тваринництві, його потрібно очищувати від домішок. Для цього використовуються дві операції: попереднє очищення збіжжя на зерноочисних машинах типу ОВП-20А та очищення ріпаку від важковідокремлюваних домішок. Виконання цих сумісних двох операцій є технологічний процес очищення. В технологічному процесі сепарації насіння ріпаку перша операція – попереднє очищення купи насіння ріпаку виконується машиною з пневмо-решітним робочим органом, а друга – експериментальною установкою з робочим органом у вигляді ударних поверхонь, роботу якої необхідно представити математичними залежностями з використанням теорії та кінематики руху. Тому, необхідність моделювання технологічного процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії є безсумнівно актуальною задачею

Аналіз останніх досліджень

Ріпак є цінною олійною та кормовою культурою. Річне виробництво ріпаку в світі становить 50 млн. тон і з кожним роком збільшується. Підвищений інтерес до ріпаку обумовлений пристосованістю цієї культури до помірного клімату, високою продуктивністю сучасних сортів, прогресивною технологією оброблення, збільшенням потреб у виробництві рослинної олії та високобілкових кормів. Ріпаковий шрот і макуха є хорошим постачальником мінеральних речовин. За вмістом кальцію, фосфору, міді, магнію і марганцю вони перевершують соєвий шрот. Доступність у них кальцію становить – 68 %, фосфору – 75 %, магнію – 62 %, марганцю – 54 %, цинку – 44 %. У Північнокавказькому НДУ тваринництва встановлено, що годування свиней кормами з ріпаковим шротом, замість соняшникового, дозволило знизити витрату кормів на 1 кг приросту живої маси до 4,25 кг, використання ріпакового шроту для годівлі дійних корів вигідне ще й тому, що він в 2 рази дешевше соєвого. Для годування корів використовується і ріпакова макуха в складі комбікормів, яка дозволяє підвищити молочну продуктивність корів та знизити витрати праці на одну одиницю продукції до 5…14 % [1, 2]. Недостатня вивченість питань очищення насіння ріпаку від насіння бур'янистих рослин мишію, курячого проса та інших, стримують його

розповсюдженість в Україні. Як показала практика насінницьких господарств, однією з основних проблем очищення насіння ріпаку є очищення його від важковідокремлюванного насіння бур'янистих рослин. Типовою є ситуація, коли після проходження всього циклу післязбиральної обробки, вихід насіння ріпаку I класу становить 35…40 %, а ще 35…40 % повноцінного насіння, яке за всіма іншими показниками, що задовольняють вимоги стандарту, не вдається довести до рівня I класу із за вмісту насіння бур'янистих рослин. Розв'язок цієї проблеми дозволить суттєво підвищити забезпеченість виробничих господарств високоякісним насіннєвим матеріалом ріпаку, отримати значний економічний ефект [4].

Для сепарації насіння ріпаку використовують, як правило, пневмо-решітні сепаратори, що випускаються промисловістю для очищення зернових культур. Триєри не використовуються, оскільки відбувається забивання чарунок олійними домішками. Значна кількість насіння бур'янистих рослин видаляється пневмо-решітними сепараторами, але повністю видалити насіння таких бур'янів як: мишій, куряче просо, підмаренник чіпкий, круглець метельчатий не вдається. Пошук методів та засобів очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішків триває до теперішнього часу. Багатьма дослідниками [3-7] встановлено, що фізико-механічні властивості насіння ріпаку та важковідокремлюваних домішків мають найбільші відмінності за пружністю. Тому, пошук нових способів очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішків, слід здійснювати за цією ознакою та виконати моделювання технологічного процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії, який здійснює даний процес за пружними властивостями компонентів. Значно поліпшити якість роботи ударних сепараторів, можна шляхом використання багаторазового удару насіння об відбивні поверхні, що сепарують. Багаторазові зіткнення насіння з відбивними поверхнями, дозволяють, як би, усереднити їхні пружні властивості й тим самим точніше розділити суміш за пружними властивостями [7]. Для сепарації зернових сумішей, в яких процес здійснюється за допомогою удару пружних тіл з поверхнею, що сепарує, використовуються ударні сепаратори або сепаратори з вібраційними неперфорованими поверхнями [7-10]. Сепарація зернових сумішей на ударних та віброударних поверхнях здійснюється у тому разі, коли траєкторії та швидкості переміщення зерна різні. Найкращий ефект сепарації досягається, якщо траєкторії відмінні не тільки за величиною, а і за напрямом. Тобто, основною задачею теоретичного дослідження процесу сепарації зернових сумішей є визначення швидкостей та напрямків переміщення компонентів, а також траєкторій їх руху по робочим поверхням сепараторів. В основу теорії процесу ударної та віброударної сепарації покладені закономірності руху переміщення частинки, ідеалізованої у вигляді тіла або матеріальної точки [11-16]. Дослідження моделі у вигляді матеріальної точки, дозволило, у багатьох випадках, розглянути сутність явища ударної та віброударної сепарації та визначити ступінь впливу на нього різних факторів. Однак, моделювання процесу багаторазового зіткнення частинки, ідеалізованої у вигляді матеріальної точки, з похилими в поздовжньо-поперечному напрямку робочими поверхнями з багаторазовими зіткненнями, дослідниками не розглядались. Тому, моделювання процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії, з багаторазовими зіткненнями компонентів суміші, є безперечно актуальним.

Мета досліджень

Метою досліджень є підвищення якості сепарації насіння ріпаку, шляхом моделювання процесу, при багаторазових зіткненнях частинок з похилими в поздовжньо-поперечному напрямку деками сепаратора, за рахунок ударного переміщення.

Результати досліджень

Розглянемо схему роботи одного ярусу сепаратора ударної дії (рис. 1).

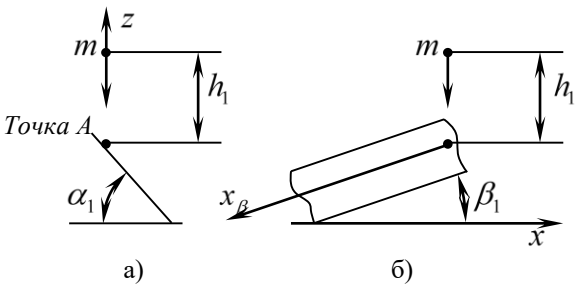


Рис. 1. Схема руху насіння з бункера на деку (а – вид спереду, б – вид з боку): α_1 – кут нахилу деки у горизонтальній площині; β_1 – кут нахилу деки у повздовжній вісі x до горизонту.

Fig. 1. Scheme of seed movement from the hopper to the deck (a - front view, b - side view).

Маємо вісі x і z, вісь y в горизонтальній площині перпендикулярна до вісі x. Визначаємо час t_1, за який пройде насіння масою m_1 до деки:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}}, \text{ с} \qquad (1)$$

Швидкість в точці A для насіння масою m_1 буде:

$$v(t) = v_0 + g \cdot t, \qquad (2)$$

де v_0 – початкова швидкість, $v_0 = 0$.

Враховуючи рівняння (1), отримуємо:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1}. \qquad (2.1)$$

Залежність (2.1) – швидкість опускання насіння на 1-у деку, в точці взаємодії (A) – швидкість удару.

Перетворюємо координатну систему (рис. 2) з Axy в $Ax'y'$.

$$\begin{cases} \bar{\tau} = -\cos\alpha \cdot \bar{\imath} + \sin\alpha \cdot \bar{\jmath}; \\ \bar{n} = \sin\alpha \cdot \bar{\imath} + \cos\alpha \cdot \bar{\jmath}. \end{cases} \qquad (3)$$

Формуємо матрицю переходу:

$\mathrm{A} = \begin{vmatrix} -\cos\alpha & \sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{vmatrix}$ – матриця переходу від системи Axy до системи $Ax'y'$;

$A^{-1} = \begin{vmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ \sin\alpha & -\cos\alpha \end{vmatrix}$ – матриця оберненого переходу від системи *Axy* до системи *Ax'y'*;

$\left|\begin{matrix}\bar{\tau}\\ \bar{n}\end{matrix}\right| \left|\begin{matrix}\bar{i}\\ \bar{j}\end{matrix}\right|$ – вектори-стовпчики ортів координаційних систем.

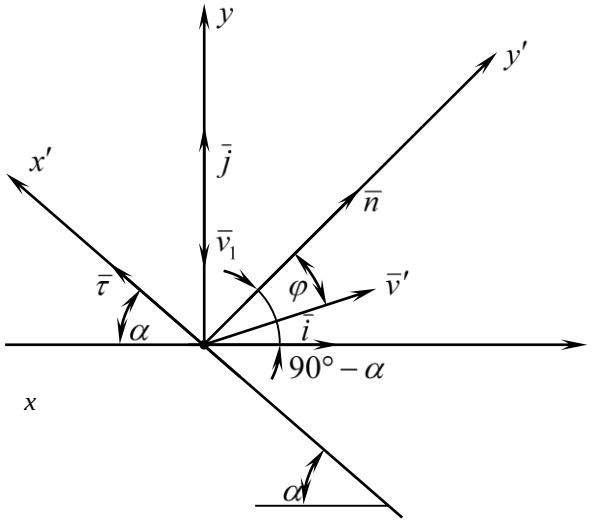


Рис. 2. Координатні системи площини у точці удару насіння в деку: $\bar{n}$ і $\bar{\tau}$ – орти координатної системи *Ax'y'*.

Fig. 2. Coordinate systems of the plane at the point of impact of the seed in the deck.

У матричній формі система рівняння (3) запишеться:

$$\left|\begin{matrix}\bar{\tau}\\ \bar{n}\end{matrix}\right| = Ax \left|\begin{matrix}\bar{i}\\ \bar{j}\end{matrix}\right|.$$

Тоді вектор швидкості $\bar{v}'$ частини (зернини) після удару в двох координаційній системі буде

$$\bar{v}' = v'_x \cdot \bar{\imath} + v'_y \cdot \bar{\jmath} = v'_x \cdot \bar{\tau} + v'_y \cdot \bar{n},$$

або у вигляді системи рівнянь, прийнявши, що $v'_x = v'^{1}_{\tau}$; $v'_y = v'_n$.

$$\begin{cases} v'_x = \cos\alpha \cdot v'_\tau + \sin\alpha \cdot v'_n; \\ v'_y = \sin\alpha \cdot v'_\tau - \cos\alpha \cdot v'_n. \end{cases}$$

$$\begin{cases} v'_\tau = -\cos\alpha \cdot v'_x + \sin\alpha \cdot v'_y; \\ v'_\tau = \sin\alpha \cdot v'_x + \cos\alpha \cdot v'_y. \end{cases}$$

У матричній формі

$$\left|\begin{matrix}v'_x\\ v'_y\end{matrix}\right| = A^{-1}x \left|\begin{matrix}v'_\tau\\ v'_n\end{matrix}\right|; \left|\begin{matrix}v'_\tau\\ v'_n\end{matrix}\right| = Ax \left|\begin{matrix}v'_x\\ v'_y\end{matrix}\right|.$$

Тоді зміна енергії при ударі буде в векторній формі

$$m(\bar{v}'_1 - v_1) = \bar{S}_1.$$

В проекціях на осі координати системи *Ax'y'* (на дотичну τ і нормаль *n*)

$$\begin{cases} m(-\bar{v}'_1 \sin\varphi - v_1 \sin\alpha) = 0; \\ m(\bar{v}'_1 \cos\varphi - v_1 \cos\alpha) = \bar{S}_1. \end{cases} \quad (4)$$

З першого рівняння системи (4) знаходимо:

$$-\bar{v}'_1 \sin\varphi = v_1 \sin\alpha. \quad (5)$$

Коефіцієнт відновлення K_v для розрахунку швидкості після удару:

$$K_v = -\frac{v'_n}{v_n} = -\frac{v'_1 \cos\varphi}{-v_1 \cos\alpha}.$$

Тоді

$$v'_1 \cos\varphi = K_v v_1 \cos\alpha. \quad (6)$$

З рівнянь (5) та (6) визначаємо модуль швидкості матеріальної точки після удару

$$v'_1 = v_1 \sqrt{\sin^2\alpha + K_v^2 \cos^2\alpha}.$$

Кут нахилу вектора швидкості $\bar{v}'_1$ до нормалі *n*

$$\varphi = arcctg(-K_v \cdot ctg\alpha).$$

З другого рівняння системи (4) визначаємо модуль ударного імпульсу

$$S = m \cdot v_1 \cdot \cos\alpha\,(K_v - 1).$$

Розраховуємо рух насіння, яке відбилося від першої деки і падає на другу деку (рис. 3).

Схема векторів сил і швидкостей буде наступною:

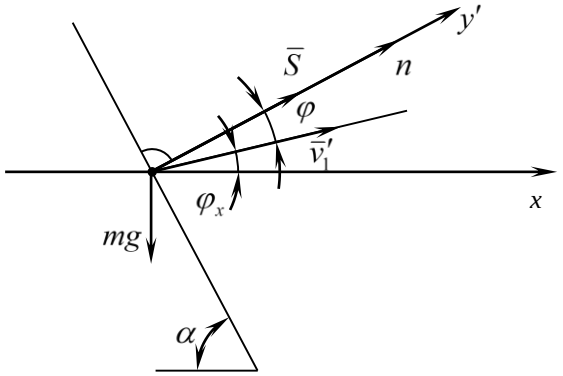


Рис. 3. Схема напрямку дії сил і векторів швидкостей відбитого насіння у момент відбиття.

Fig. 3. Scheme of the direction of action of forces and vectors of velocities of the reflected seed at the moment of reflection.

Враховуючи з рис. 2:

$$\begin{cases} v'_\tau = -v'_1 \cdot \sin\varphi; \\ v'_n = v'_1 \cdot \cos\varphi. \end{cases} \quad (7)$$

Тоді за формулою (7) перетворення координат швидкостей отримаємо

$$\begin{cases} v'_{x1} = -v'_1 \sin\varphi \cos\alpha + v'_1 \cos\varphi \sin\alpha; \\ v'_{y1} = -v'_1 \sin\varphi \sin\alpha - v'_1 \cos\varphi \cos\alpha. \end{cases} \quad (8)$$

Кут нахилу вектора швидкостей $\bar{v}'_1$ відносно додаткового напрямку осі буде

$$\cos(\varphi_x) = \cos(v'_1, x) = \frac{v'_{x1}}{v'}; \quad (9)$$

$$\varphi_x = arccos(\varphi_x).$$

Складаємо систему рівнянь руху насіння після удару об деку, у проекціях на вісі *x* і *y*

$$\begin{cases} m \cdot v'_{x1} = S \cdot \sin\alpha; \\ m \cdot v'_{y1} = S \cdot \cos\alpha - mgt. \end{cases} \quad (10)$$

З системи (10) визначаємо проекції швидкостей насіння після удару

$$\begin{cases} v'_{x1} = \frac{S}{m} \cdot \sin\alpha; \\ v'_{y1} = \frac{S}{m}\cos\alpha - gt. \end{cases} \quad (11)$$

Початкові умови після ударного руху

t=0; x_0=0; y_0=0; $\dot{x}_0 = v'_{x1}$; $\dot{y}_0 = v'_{y1}$.

Рівняння руху насіння після удару

$$\begin{cases} v'_{x1} = \frac{S}{m} \cdot \sin\alpha; \\ v'_{y1} = \frac{S}{m}\cos\alpha - gt. \end{cases} \quad (12)$$

Підставляємо в систему (12) вирази системи (11)

$$\begin{cases} x = \frac{S}{m}\sin\alpha \cdot t; \\ y = \frac{S}{m}\cos\alpha \cdot t - gt^2 - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (13)$$

Знаючи конструкцію сепаратора, відстань по горизонталі між деками задано – *x*, по вертикалі – *y*.

Тоді визначаємо час, по осі *x*– $t \Longrightarrow t_x$, по осі *y* – $t \Longrightarrow t_y$.

З системи рівнянь (13) отримаємо:
з першого рівняння:

$$t_x = \frac{x \cdot m}{S \cdot \sin\alpha}; \quad (14)$$

з другого рівняння:

$$t_{y,1,2} = \frac{\frac{S}{m}\cos\alpha \pm \sqrt{\left(\frac{S}{m}\cos\alpha\right)^2 - 6gy}}{3g}; \quad (15)$$

Умова:
– насіння долетіло до другої деки:

$$t_2 = t_y = t;$$

– насіння не долетіло до деки

$$t_x > t_y; t = t_y;$$

– не повинна виконуватись умова, коли насіння перелетіло до другу деку

$$t_x < t_y.$$

Прийнявши значення часу *t*, з системи рівнянь (13) визначаємо швидкість в точці удару на другій деці – точка A_2:

$$\begin{cases} \frac{d_x}{d_t} = \frac{S}{m}\sin\alpha = v'_{x1-2}; \\ \frac{d_y}{d_t} = \frac{S}{m}\cos\alpha - mg - gt = v'_{y1-2}. \end{cases} \quad (16)$$

Модуль швидкості у точці падіння буде

$$v'_{1-2} = \sqrt{(v'_{x1-2})^2 + (v'_{y1-2})^2}. \quad (17)$$

Розрахуємо кут нахилу вектора швидкості v'_{x1-2} відносно осі *x* в момент удару в точці A_2 (рис. 4):

$$\cos(\beta_2) = \cos\left(v'_{1-2,x}\right) = \frac{v'_{x1-2}}{v'_{1-2}}; \quad (18)$$

$$\beta_2 = arccos\left(v'_{1-2,x}\right).$$

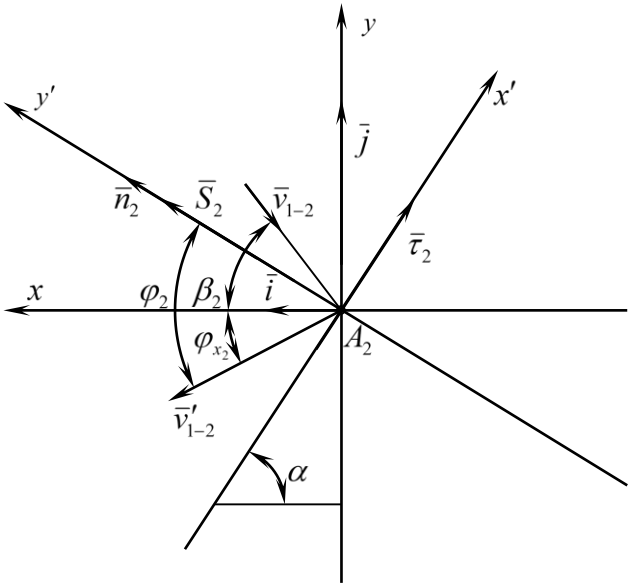


Рис. 4. Координатні системи площини у точці A_2 удару насіння об другу деку.

Fig. 4. Coordinate systems of the plane at the point A2 of the impact of the seed on the second deck.

Перетворимо координаційну систему для другої деки:

$$\begin{matrix} \bar{\tau}_2 = -\bar{\imath}\cos\alpha + \bar{\jmath}\sin\alpha \\ \bar{n}_2 = \bar{\imath}\sin\alpha + \bar{\jmath}\cos\alpha \end{matrix}. \quad (19)$$

Зміна кількості енергії (імпульс удару) в векторній формі буде мати вигляд:

$$m(\bar{v}'_{1-2} - \bar{v}_{1-2}) = \bar{S}_2. \quad (20)$$

В проекціях на осі координат системи $A_2x'y'$ (на дотичну τ_2 і нормаль n_2):

$$\begin{cases} m\left(v'_{1-2}\sin\varphi_2 + v'_{1-2}\cos\left(180 - (\beta_2 + \alpha)\right)\right) = 0; \\ m\left(v'_{1-2}\cos\varphi_2 - v_{1-2}\cos(\beta_2 + \alpha - 90)\right) = S_2. \end{cases} \quad (21)$$

З першого рівняння системи (21):

$$v'_{1-2}\sin\varphi_2 = -v_{1-2}\cos\left(180 - (\beta_2 + \alpha)\right). \quad (22)$$

Коефіцієнт відновлення K_{v2} для розрахунку швидкості після удару:

$$K_{v2} = -\frac{v'_{n2}}{v_{n2}} = -\frac{v'_{1-2}\cos\varphi_2}{-v_{1-2}\cos(\beta_2 + \alpha - 90)};$$

$$v'_{1-2}\cos\varphi_2 = K_{v2}\,v_{1-2}\cos(\beta_2 + \alpha - 90). \quad (23)$$

З рівнянь (21) і (22) піднявши до квадрату і просумувавши, визначаємо модуль швидкості насіння після удару

$$v'_{1-2} = v_{1-2}\sqrt{(-\cos(\beta_2 + \alpha))^2 + K_{v2}^2(-\sin(\beta_2 + \alpha))^2}. \quad (24)$$

Кут нахилу φ_2 вектора швидкості v'_{1-2} до нормалі n_2, розділивши залежність (22) на (23) і провівши спрощення, отримаємо:

$$\varphi_2 = arctg\left(-\frac{\mathrm{ctg}(\beta_2+\alpha)}{K_{v2}}\right). \quad (25)$$

З другого рівняння системи (21) визначаємо модуль ударного імпульсу:

$$S_2 = mv_{1-2}sin(\beta_2 + \alpha)(1 - K_v). \quad (26)$$

Розглядаємо рух насіння, яке відбилось від другої деки і падає на третю деку. З рисунку 4 визначаємо:

$$\begin{cases} v'_{\tau 2} = v_{1-2}\sin\varphi_2\,; \\ v'_{n2} = v_{1-2}\cos\varphi_2\,. \end{cases} \quad (27)$$

Тоді за аналогією з формулами (8) та згідно рисунку 4 записуємо:

$$\begin{cases} v'_{x1-2} = v'_{\tau 2}\cos\alpha + v'_{n2}\sin\alpha\,; \\ v'_{y1-2} = -v'_{\tau 2}\sin\alpha + v'_{n2}\cos\alpha\,. \end{cases} \quad (28)$$

або враховуючи (27) отримуємо:

$$\begin{cases} v'_{x1-2} = v'_{1-2}\sin\varphi_2\cos\alpha + v'_{1-2}\cos\varphi_2\sin\alpha\,; \\ v'_{y1-2} = -v'_{1-2}\sin\varphi_2\sin\alpha + v'_{1-2}\cos\varphi_2\cos\alpha\,. \end{cases} \quad (29)$$

Кут між вектором швидкості v'_{1-2} і додатковою віссю *x* буде становити:

$$\cos(\varphi_{x2}) = \cos\left(\bar{v}'_{1-2,x}\right) = \frac{v'_{x1-2}}{v'_{1-2}};$$

$$\varphi_{x2} = arccos\left(\frac{v'_{x1-2}}{v'_{1-2}}\right). \quad (30)$$

Складаємо систему рівнянь руху насіння після удару об другу деку в проекціях на вісі *x* і *y*:

$$\begin{cases} mv'_{x1-2} = S_2\sin\alpha \\ mv'_{y1-2} = S_2\cos\alpha - mgt_2 \end{cases}. \quad (31)$$

В системі (31) визначаємо проекції швидкості насіння після удару об другу деку:

$$\begin{cases} v'_{x1-2} = \frac{S_2}{m}\sin\alpha \\ v'_{y1-2} = \frac{S_2}{m}\cos\alpha - gt_2 \end{cases}. \quad (32)$$

Початкові умови руху, після другого удару об другу деку:

$$\begin{cases} x = v'_{x1-2}\cdot t_2; \\ y = v'_{x1-2}t_2 - \frac{gt_2^2}{2}. \end{cases} \quad (33)$$

Підставляємо в систему (33) вирази з (32)

$$\begin{cases} x = \frac{S_2}{m}\sin\alpha\, t_2; \\ y = \frac{S_2}{m}\cos\alpha\, t_2 - gt_2^2 - \frac{gt_2^2}{2}. \end{cases} \quad (34)$$

Аналогічно визначаємо час t_2 по осі $x \rightarrow t_2 \Longrightarrow t_{2x}$, по

осі $y \rightarrow t_2 \Longrightarrow t_{2y}$.

З системи (34) одержуємо:

$$t_{2x} = \frac{xm}{S_2 \sin\alpha}; \quad (35)$$

З другого рівняння системи (34):

$$t_{2y,1-2} = \frac{\frac{S_2}{m}\cos\alpha \mp \sqrt{\left(\frac{S_2}{m}\cos\alpha\right)^2 - 6gy}}{3g}; \quad (36)$$

Умова така ж сама.

Прийнявши значення t після другої деки з системи рівнянь (33) визначаємо швидкість у точці удару на третій деці – точка *A3* (аналогічно з рис. 4).

$$\begin{cases} \frac{d_x}{d_t} = \frac{S_2}{m}\sin\alpha = v_{x2-3}; \\ \frac{d_y}{d_t} = \frac{S_2}{m}\cos\alpha - 2gt - gt = v_{y2-3}. \end{cases} \quad (37)$$

де m – еквівалент сили насіння,

$$m \rightarrow \frac{m}{g} \rightarrow \frac{Н \cdot м}{c^2}.$$

Визначивши час t_2, який визначає момент удару насіння в другу деку, розрахуємо швидкості за рівняннями системи (36). Модуль швидкості у точці падіння (удару) насіння буде:

$$v_{2-3} = \sqrt{(v_{x2-3})^2 + (v_{y2-3})^2}. \quad (38)$$

Кут нахилу вектора швидкості $\bar{v}_{2-3}$ відносно вісі x в момент удару в точці *A3* буде згідно рівняння (17):

$$\beta_3 = arccos\left(\frac{v_{x2-3}}{v_{2-3}}\right). \quad (39)$$

Зміна кількості енергії (імпульс удару) у векторній формі буде мати вигляд:

$$\bar{S}_3 = m(\bar{v}'_{2-3} - v_{2-3}). \quad (40)$$

де $\bar{v}'_{2-3}$ – вектор швидкості насіння після удару об третю деку.

Відповідно, модуль швидкості насіння після удару за аналогією залежності (23) буде:

$$v'_{2-3} = v_{2-3}\sqrt{(-\cos(\beta_3 + \alpha))^2 + K_{v3}^2(-sin(\beta_2 + \alpha))^2}. \quad (41)$$

Кут нахилу φ_3 вектора швидкості v'_{2-3} до нормалі n_3, за аналогією залежності (25), буде:

$$\varphi_3 = arctg\left(-\frac{\text{ctg}(\beta_3+\alpha)}{K_{v3}}\right). \quad (42)$$

Відповідно модуль ударного імпульсу буде становити:

$$S_3 = mv_{2-3}sin(\beta_3 + \alpha)(1 - K_{v3}). \quad (43)$$

Отже, після удару насіння об третю деку, розраховуємо часові і кінематичні параметри руху насіння до опускання на основу, або на наступну деку, якщо вона є.

Алгоритм розрахунку аналогічний попередньому. Кут між вектором швидкості v'_{2-3} і додатковою віссю x:

$$\varphi_{x3} = arccos\left(\frac{v'_{x2-3}}{v'_{2-3}}\right). \quad (44)$$

Проекції вектора модуля швидкості на вісі x і y:

$$\begin{cases} v'_{x2-3} = v'_{2-3}\sin\varphi_3\cos\alpha + v'_{2-3}\cos\varphi_3\sin\alpha; \\ v'_{y2-3} = -v'_{2-3}\sin\varphi_3\sin\alpha + v'_{2-3}\cos\varphi_3\cos\alpha. \end{cases} \quad (45)$$

Визначаємо час t_{3x} по вісі x:

$$t_{3x} = \frac{xm}{S_3 \sin\alpha g},$$

$$t_{3y} = \frac{\frac{S_3 g}{m}\cos\alpha \mp \sqrt{\left(\frac{S_3 y}{m}\cos\alpha\right)^2 - 6gy}}{3g}; \quad (46)$$

де m – маса зернини, $\frac{H \cdot c^2}{м}$.

Для наступних дек записуємо залежності:

$\varphi_{xi} = arccos\left(\frac{v_{xi}}{v_{i-1}}\right)$ – до удару об i-у деку;

$\beta_i = arccos\left(\frac{v_{xi}}{v_i}\right)$ – до удару об i-у деку;

$v_i = v_i\sqrt{(-\cos(\beta_i + \alpha))^2 + K_{vi}^2(-sin(\beta_i + \alpha))^2}$ – після удару об i-у деку;

$\varphi_i = arctg\left(-\frac{\text{ctg}(\beta_i+\alpha)}{K_{vi}}\right)$ – після удару;

$S_i = mv_i sin(\beta_i + \alpha)(K_{vi} - 1)$ – імпульс сили після удару об i-у деку.

Час проходження насінини після удару об *i-1* деку до *i* деки:

$$t_{x,(i+1,i)} = \frac{xm_i}{S_i \sin\alpha};$$

$$t_{y,(i+1,i)} = \frac{\frac{S_i g}{m_i}\cos\alpha \mp \sqrt{\left(\frac{S_i y}{m_i}\cos\alpha\right)^2 - 6gy}}{3g},$$

де i – номер деки;

m_i – маса *1*-ї насінини, Н·с^2/м;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

y – відстань по вертикалі між деками *i+1* та *i*, м;

x – імпульс сили відбитої насінини від деки *i*, Н·с.

Загальний час проходження зернини для трьох дек буде:

$$t_{сум} = t + t_1 + t_2 + t_3 + t_i, \text{ с} \quad (47)$$

t_1 – тривалість проходження насіння від бункера до першої деки, с;

t_1 – тривалість проходження насіння від першої до другої деки, с;

t_2 – тривалість проходження насіння від другої до третьої деки, с;

t_3 – тривалість проходження насіння від третьої до *i*-ої деки, с;

t_i – тривалість проходження насіння від і-ої до і+1 деки.

Продуктивність сепарування визначаємо за наступною залежністю для насіння m_i маси:

$$Q_{c.m_i} = \frac{m_{i_{1000}}\delta_{m_i}}{t_{сум.m_i} \cdot 10^3}, \text{ кг/с} \quad (48)$$

де $m_{i_{1000}}$ – маса 1000 насінин *i*-го розмірного ряду, грам (наприклад, m_1=2,5; m_2=5,0; m_3=7,5;);

δ_{m_i} – відсоток фракції заданої маси в 1000 насінин;

$t_{сум.m_i}$ – сумарний час проходження насіння масою m_i від бункера до останньої деки, с.

Далі, за допомогою програми MathCad, були розраховані залежності модуля швидкості насінин при ударі від їх маси та кута установки деки, які представлені на рис. 5. Як видно з рис. 5, величина модуля швидкості частинки після удару не залежить від маси насінини і зростає при збільшені нахилу деки в межах від 100 до 500. Тобто, найбільш сприятливими для сепарації будуть кути нахилу в межах 40°-50°.

На рис. 6 представлені залежності продуктивності сепарації від маси насінин і кута установки деки. Як видно з рис. 6 продуктивність сепарації дещо збільшується з підвищенням кута установки деки в межах 10°-50° та значно зростає в залежності від маси насінин і коливається від 8 до 30 кг/год. для одного ярусу.

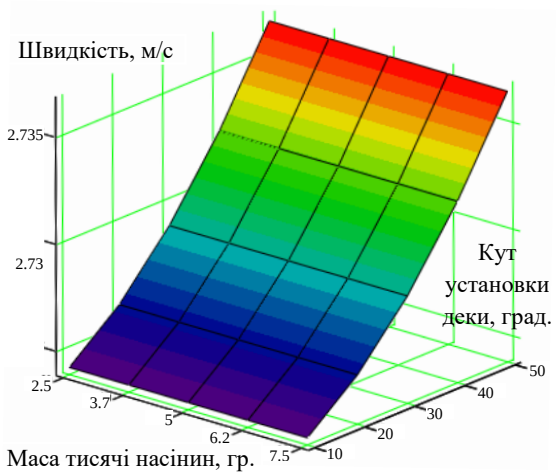


Рис. 5. Залежність модуля швидкості насінини від її маси і кута установки деки.

Fig. 5. Dependence of the seed velocity modulus on its mass and the angle of installation of the deck.

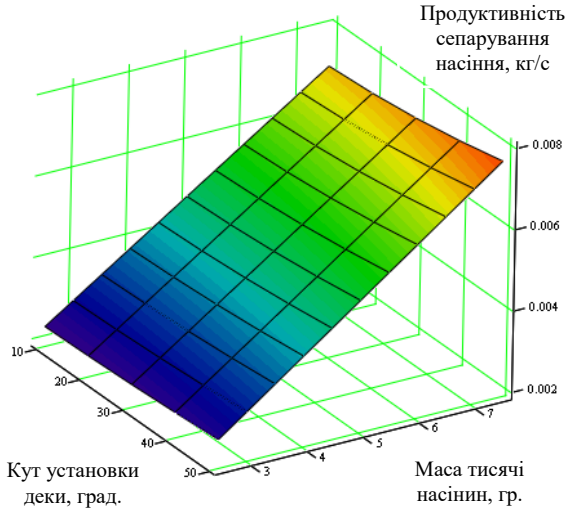


Рис. 6. Продуктивність сепарування від маси насінини і кута установки деки.

Fig. 6. Productivity of separation from weight of seeds and a corner of installation of a deck.

Висновки

1. В результаті проведеного дослідження розв'язано задачу визначення продуктивності сепаратора ударної дії від маси насінини і кута установки деки, яка коливається від 8 до 30 кг/год. для одного ярусу сепаратора.

2. Модуль швидкості частинки ідеалізованої у вигляді матеріальної точки, не залежить від маси частинки, і значно зростає зі збільшенням кута нахилу деки в межах від 10° до 50°.

Список літератури

1. *Лазаревич В. П.* Використання насіння ріпаку в раціонах корів. Вісник аграрної науки. 2012. № 5. С. 29–31.

2. *Жуковський О. М.* Відходи переробки ріпаку в годівлі тварин. Тваринництво України. 2007. № 3. С. 32–34.

3. *Птицын С. Д.* Сепарация зерна при ударе. Труды ВИМ. 1949. Т 12. С. 79–84.

4. *Бобров С. Ф.* Разделение зерна по принципу упругости и зависимости от угла наклона отражательных плиток. Научн. записки Херсонского СХИ. Киев : УСХА, 1959. Вып. 8. С. 127–136.

5. *Шукюров С. А*. Сопротивление семян сои по упругим свойствам: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук 05.20.01. Новосибирский ин-т механизации сельского хоз-ва. Новосибирск, 1984. 19 с.

6. *Филинков Н. И.* Физико-механические основы сепарации зерновой массы по влажности методом упругих деформаций. Труды ВНИИ зернобобовых культур. 1968. Т. 2. С. 319–333.

7. *Богомолов А. В*. Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2013. С. 303–308.

8. *Васильєв А. М.* Новый режим вибрационного движения частицы на рифленой поверхности сепарирующих машин. Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 12. С. 16–18.

9. *Заика П. М., Мазнев Г. Е.* Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. Москва. Колос. 1978. 278 с.

10. *Богомолов О. В., Токолов Ю. І., Зінченко М. О.* Патент на корисну модель № 57958 Україна, B07B 13/00. Пристрій для розподілу для зернових матеріалів за пружними властивостями; заявник і патентовласник Харківський національний технічний університет сільського господарства. № u200203187; заявлено 07.03.2002; опубліковано 15.07.2003. Бюл. № 7.

11. *Ольшанський В. П.* Про взаємодію важкого твердого тіла з пружним півпростором. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія: сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв. 2018. Вип. 194. С. 38–46.

12. *Заика П. М., Мазоренко Д. И., Завгородний А. И.* Периодический режим движения материальной точки между двумя криволинейными поверхностями. Сб. науч. тр. МИИСП. Серия: совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин. Москва. 1977. Вып. 2. С. 12–20.

13. *Кобринский А. Е., Кобринский А. А.* Виброударные системы. Москва. Наука, 1973. 252 с.

14. *Hashem Alkhaldi*. Contact Investigation of Granular Mechanical Media in Tumbling Sorting Machine. Institut Fur Technische Und Numerische Mechanik Der Universitat Stuttgart. 2007. 122 p.

15. *Luding S.* Collisions and Contacts two Particles, Physics of Dry Granular Media. E350-NATO ASI series, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 1998. P. 285-314.

16. *Muth B., Eberhard P., Luding S.* Contact Simulation for Many Particles Considering. Mechanics Dased Design of Structures and Machines. 2003. Vol. 31. No. 3. P. 433-457.

References

1. *Lazarevich V. P.* The use of rapeseed in the diets of cows. Bulletin of Agricultural Science. 2012. № 5. P. 29–31.

2. *Zhukovsky O. M.* Waste of rapeseed processing in animal feed. Livestock of Ukraine. 2007. № 3. P. 32–34.

3. *Ptitsyn S. D.* Separation of grain at impact. Proceedings of VIM. 1949. Vol. 12, P. 79–84.

4. *Bobrov S. F.* Separation of grain according to the principle of elasticity and dependence on the angle of inclination of reflective tiles. Scientific. notes of the Kherson Agricultural Institute. Kiev: USKHA, 1959. Issue. 8, P.127–136.

5. *Shukurov S. A.* Resistance of soybean seeds by elastic properties: author. dis. for the degree of Cand. tech. Sciences 05.20.01. Novosibirsk Institute of Agricultural Mechanization. Novosibirsk, 1984. 19 p.

6. *Filinkov N. I.* Fiziko-mekhanicheskie osnovy separation of grain mass by moisture using the elastic deformation method. Proceedings of the All-Russian Research Institute of Leguminous Crops. 1968. T. 2. P. 319–333.

7. *Bogomolov A. V.* Separation of hard-to-separate loose mixtures. Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. 2013. P. 303–308.

8. *Vasiliev A. M.* A new mode of vibrational motion of a particle on the corrugated surface of separating machines. Storage and processing of agricultural raw materials. 2012. № 12. P. 16–18.

9. *Zaika P. M., Maznev G. E.* Separation of seeds by a complex of physical and mechanical properties. Moscow. Ear. 1978. 278 p.

10. *Bogomolov O. V., Tokolov Y. I., Zinchenko M. O.* Patent for utility model № 57958 Ukraine, B07B 13/00. Distribution device for grain materials by elastic properties; applicant and patent owner Kharkiv National Technical University of Agriculture. № u200203187; filed 07.03.2002; published 15.07.2003. Bull. № 7.

11. *Olshansky V. P.* On the interaction of a heavy solid with an elastic half-space. Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. Series: modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food productions. 2018. Vip. 194. P. 38–46.

12. *Zaika P. M., Mazorenko D. I., Zavgorodniy A. I.* Periodic regime of motion of a material point between two curvilinear surfaces. Sat. scientific. tr. MIISP. Series: improving the working bodies of agricultural machines. Moscow. 1977. Issue. 2. P. 12–20.

13. *Kobrinsky A. E., Kobrinsky A. A.* Vibroimpact systems. Moscow. Nauka, 1973. 252 p.

14. *Hashem Alkhaldi*. Contact Investigation of Granular Mechanical Media in Tumbling Sorting Machine. Institut Fur Technische Und Numerische Mechanik Der Universitat Stuttgart. 2007. 122 p.

15. *Luding S.* Collisions and Contacts two Particles, Physics of Dry Granular Media. E350-NATO ASI series, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 1998. P. 285-314.

16. *Muth B., Eberhard P., Luding S.* Contact Simulation for Many Particles Considering. Mechanics Dased Design of Structures and Machines. 2003. Vol. 31. No. 3. P. 433-457.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ СЕМЯН РАПСА СЕПАРАТОРОМ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Н. В. Брагинец, В. Т. Дмытрив, В. С. Хмелевский, А. В. Богомолов, А. А. Богомолов

Аннотация. Рассмотрены вопросы использования семян на корм в животноводстве и его подготовка в технологической линии, путем очистки семян от трудноотделяемых семян сорных растений. Установлено, что на пневмо-решетных сепараторах общего назначения, которые, как правило, используют для очистки семян, удаляется значительное количество семян сорняков минеральных и органических примесей, но полностью удалить трудноотделяемых семена, таких сорняков как, например: мыший, куриное просо, подмаренник цепкий и других, не удается.

Приведенные данные об использовании продуктов переработки семян рапса на корм свиньям и крупному рогатому скоту, например, рапсовый жмых, используется в составе комбикормов, позволяет повысить продуктивность коров и снизить потери труда на одну единицу продукции до 5 ... 14%.

Предложено проводить очистку семян от трудноотделяемых примесей с помощью многоярусного сепаратора ударного действия.

В статье проведено моделирование процесса сепарации семян сепаратором ударного действия. Рассмотрено движение частицы идеализированной в виде материальной точки при соударения ее с наклонными, в продольном и поперечном направлениях, деками сепаратора ударного действия.

Рассчитана теоретическая производительность сепаратора ударного действия, которая составляет 8 ... 30 кг/ч. для одного модуля. Проведенные исследования позволили определить конструктивные параметры многоярусного ударного сепаратора и рассчитать его производительность.

Ключевые слова: семена, рапс, сепарация, жмых, шрот, моделирование, удар.

MODELING OF PROCESS OF SEPARATION OF RAPPINE SEEDS BY SHOCK SEPARATOR

M. V. Braginets, V. T. Dmutriv, V. S. Khmelovskyi, O. V. Bogomolov, O. O. Bogomolov

Abstract. The questions of the use of seeds for fodder in animal husbandry and its preparation in the technological line by cleaning seeds from hard-to-separate seeds of weeds are considered. It has been established that general-purpose pneumatic sieve separators, which are usually used for cleaning seeds, remove a significant amount of weed seeds, mineral and organic impurities, but completely remove hard-to-separate seeds, such weeds as, for example: mice, chicken millet, tenacious bedstraw and others fail.

The given data on the use of rapeseed processing

products for feed for pigs and cattle, for example, rapeseed cake, is used as part of compound feed, it can increase the productivity of cows and reduce labor losses per unit of production up to 5 ... 14%. It is proposed to purify seeds from difficult-to-separate impurities using a multi-tiered impact separator.

The article presents the modeling of the process of separation of seeds by a percussion separator. The motion of a particle idealized in the form of a material point when it collides with inclined, in the longitudinal and transverse directions, decks of the impact separator is considered.

The theoretical productivity of the impact separator is calculated, which is 8 ... 30 kg / h. for one module. The studies carried out made it possible to determine the design parameters of the multi-tiered impact separator and calculate its performance.

Key words: seeds, rapeseed, separation, cake, meal, modeling, blow.

М. В. Брагінець ORCID 0000-0002-2135-9165.
В. Т. Дмитрів ORCID 0000-0001-9361-6418.
В. С. Хмельовський ORCID 0000-0002-6018-8821.
О. В. Богомолов ORCID 0000-0002-1531-7030.
О. О. Богомолов ORCID 0000-0001-8297-2708.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No. 2, 165-170
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.165-170

УДК 621.313.2

ОБҐРУНТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОГО ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ГЕНЕРАТОРА З КІЛЬЦЕВИМ РОТОРОМ

В. В. Козирський[1], О. Д. Подольцев[2], М. І. Трегуб[3]

[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
[2]Інститут електродинаміки, Україна.
[3]Білоцерківський національний аграрний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Кореспонденція авторів: epafort1@ukr.net, podol@ied.org.ua, tregyb.m.i@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 7, рис. 6, табл. 0.

Анотація. За допомогою методів чисельного моделювання та експериментальних досліджень визначено вплив габаритних розмірів феромагнітних елементів кільцевого ротора вентильного реактивного генератора на кратність зміни магнітної провідності його електромагнітної системи в процесі руху. Визначені числові співвідношення геометричних розмірів цих елементів, за яких досягається максимальна зміна провідності. Отримані числові залежності щодо обмеження радіальної висоти феромагнітного елемента за різних розмірів сторони його квадратного перетину.

Ключові слова: вітроелектричний вентильний реактивний генератор, кільцево-циліндричний ротор, магнітна провідність, оптимальні геометричні розміри, електромагнітна система.

Постановка проблеми

Найдосконалішим способом приєднання електричної машини до робочого пристрою вважається взаємне інтегрування їх конструкцій без будь-яких трансмісійних вузлів і механізмів та одночасно без погіршення функціональних і технічних показників.

Аналіз останніх досліджень

Зокрема, для безтрансмісійних вітроелектричних установок кільцевий ротор не повинен суттєво впливати на аеродинамічні показники. Всі конструктивні типи електричних машин фактично визначаються конфігурацією ділянки магнітного кола ротора, яка найкоротша із прямолінійним напрямом магнітного потоку в роторах дискової та кільцево-циліндричної форми [5, 6]. Такі форми перспективні для вентильних реактивних електричних машин (ВРЕМ), у яких на роторі відсутні будь-які обмотки або постійні магніти [1]. Електричні машини з кільцево-циліндричним ротором крім того мають майже удвічі більшу площу активної поверхні в робочому немагнітному проміжку та подвійне число полюсів порівняно з традиційними електричними машинами із суцільним циліндричним ротором. Можна назвати ще ряд принципових переваг, які підтверджують перспективність кільцево-циліндричного типу електричних машин [7], однак з огляду на нетрадиційність конфігурації їх магнітної системи методи обґрунтування оптимальних геометричних розмірів магнітопровідної ділянки ротора потребують нових рішень, порівняно із методами оптимізації зубцево-пазових ділянок роторів традиційних електричних машин, зокрема [2] конструктивно подібних до ВРЕМ індукторних генераторів (ІГ).

Тому можна стверджувати, що розвиток методів визначення оптимальних геометричних параметрів магнітних систем вентильних реактивних генераторів (ВРГ) з кільцево-циліндричним ротором є актуальним завданням.

Мета досліджень

Метою даної роботи є обґрунтування за результатами математичного та фізичного моделювання оптимальних значень геометричних параметрів магнітної системи ВРГ з кільцевим ротором, які перспективні у різних сферах, зокрема у безтрансмісійних вітроустановках та низьконапірних гідроелектростанціях.

Результати досліджень

Дослідження проводили теоретичним і експериментальним методами. Методика теоретичних досліджень полягала у побудові ескізної моделі елементарної функціональної ланки електромагнітної системи і теоретичного аналізу магнітних провідностей за статичних положень максимумів і мінімумів їх значень. Конструктивна схема,

запропонованої [3] елементарної ланки електромеханічної системи із кільцевим ротором дугостаторного ВРГ, зображена на рис. 1.

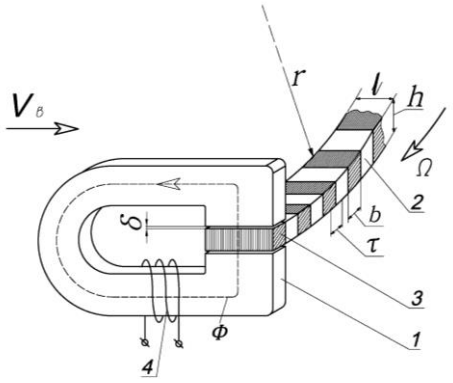


Рис. 1.
Fig. 1.

Кільцевий ротор радіусом r із однаковими за розміром немагнітопровідними 2 і феромагнітними 3 його ділянками та полюсним поділом τ обертається з кутовою швидкістю Ω і проходить через проріз монопакетного магнітопроводу 1 статора із повітряним проміжком δ з кожного боку. Габаритні розміри ділянок ротора: l – аксіальна довжина, h – радіальна висота, b – дуговий сегмент. Середня лінія магнітного потоку Φ та орієнтовний напрям вітру зі швидкістю $V_в$. На магнітопроводі статора виконана обмотка 4. На дуговому статорі може встановлюватися різне число таких однопакетних, магнітно не зв'язаних між собою статорних модулів, які є окремими електромеханічними системами, що гранично спрощує їх функціонування за принципом вентильних електричних машин. Напрям вітру обумовлює однозначні габаритні вимоги до конструктивних розмірів кільцевого ротора, серед яких найбільший аеродинамічний вплив має радіальна висота h, яка за умов забезпечення необхідної механічної жорсткості та функціональних параметрів електромеханічної системи повинна мати мінімальні значення. Оскільки у безтрансмісійних низькообертових електромеханічних системах радіус кільцевого ротора може становити кілька метрів, то можна проаналізувати лінійну розгортку магнітного кола, що має дуже незначні відмінності від реальної форми ділянки. В основі принципу функціонування даної електромеханічної системи є періодична зміна магнітної провідності координатною зміною положення ділянок кільцевого ротора відносно осі магнітопроводу статора, тому найбільш важливо розглянути два крайніх положення, за яких відповідно матимемо максимальне і мінімальне її значення. Для двох граничних положень ділянок полюсного поділу розгортки кільцевого ротора побудована спрощена графоаналітична картина силових ліній плоскопаралельного магнітного поля за відомим методом Ріхтера, яка показана рис. 2(а, б).

Графічний аналіз дає підстави вважати, що за умови відсутності насичення магнітопроводу в положенні повного входження феромагнітного елемента ротора у проріз магнітопроводу статора (рис. 2, а) і при цьому значно меншим розміром повітряного проміжку від полюсного поділу($\delta << \tau$), явище випинання магнітного поля буде впливати лише на незначне збільшення площі перетину немагнітної ділянки, а потоки розсіювання будуть мінімальні.

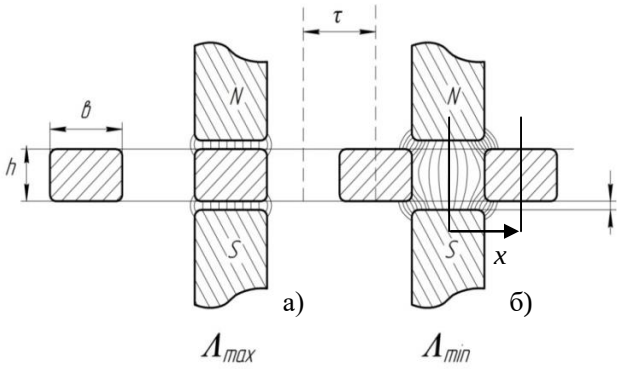


Рис. 2.
Fig. 2.

Оскільки $\mu_0 << \mu_\Phi$, то $\Lambda_{макс}$ залежитиме практично від розмірів повітряного проміжку δ, а розмір h феромагнітного елементу ротора на цей показник мало впливає. Це можна показати відомим аналітичним розрахунковим виразом максимального значення магнітної провідності:

$$\Lambda_{\grave{\imath}\,\grave{a}\tilde{o}} = (R_\delta + R_{\hat{o}})^{-1} = (2\delta / \mu_{\hat{\imath}} b\ell \ + h / \mu_{\hat{o}} b\ell)^{-1}, \quad (1)$$

де: R_δ – магнітний опір повітряного проміжку, R_Φ– магнітний опір магнітопровідної ділянки кола, μ_Φ – магнітна проникність феромагнітного матеріалу магнітопроводу. Аналізуючи порядкові значення чисел магнітної проникності повітря μ_0 і електротехнічної сталі μ_Φ можна показати, що складова магнітного опору магнітопроводу не перевищуватиме 0,01%. Складніше завдання визначення мінімальної величини провідності у положенні (рис. 2, б), оскільки аналітично складно розрахувати магнітний опір у режимі насичення через бічні поверхні сусідніх феромагнітних елементів ротора. Тому була необхідність дослідження тривимірної моделі розподілу магнітного поля в активній зоні чисельним методом скінченних елементів за допомогою пакету програм COMSOL.

Для розрахунку магнітного поля та магнітної провідності магнітної системи в залежності від положення ротора використовувався фрагмент цієї системи, показаний на рис. 3 (а) із зображенням скінчених елементів. Він містить полюси електромагніту 1 та рухомий кільцевий ротор, який має три феромагнітні елементи 2. Напруженість магнітного поля $\mathbf{H}$ у активній зоні магнітної системи має лише одну функціональну складову, для якої можна ввести скалярний магнітний потенціал φ_m, так що $\mathbf{H} = -\nabla\varphi_m$. Розподілення цього потенціалу, виходячи з виразу $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$, описується рівнянням Лапласа $\nabla \cdot (-\mu_0 \mu_r \nabla \varphi_m) = 0$.

Дана залежність має граничні умови: на нижній поверхні першого полюсу задавалось $\varphi_m = \varphi_{m,1} = 0$,

на верхній поверхні другого полюсу – $\varphi_m = \varphi_{m,2}$ (див. рис. 3, а), а на всіх інших поверхнях – умови магнітної ізоляції - $\partial\varphi / \partial n = 0$.

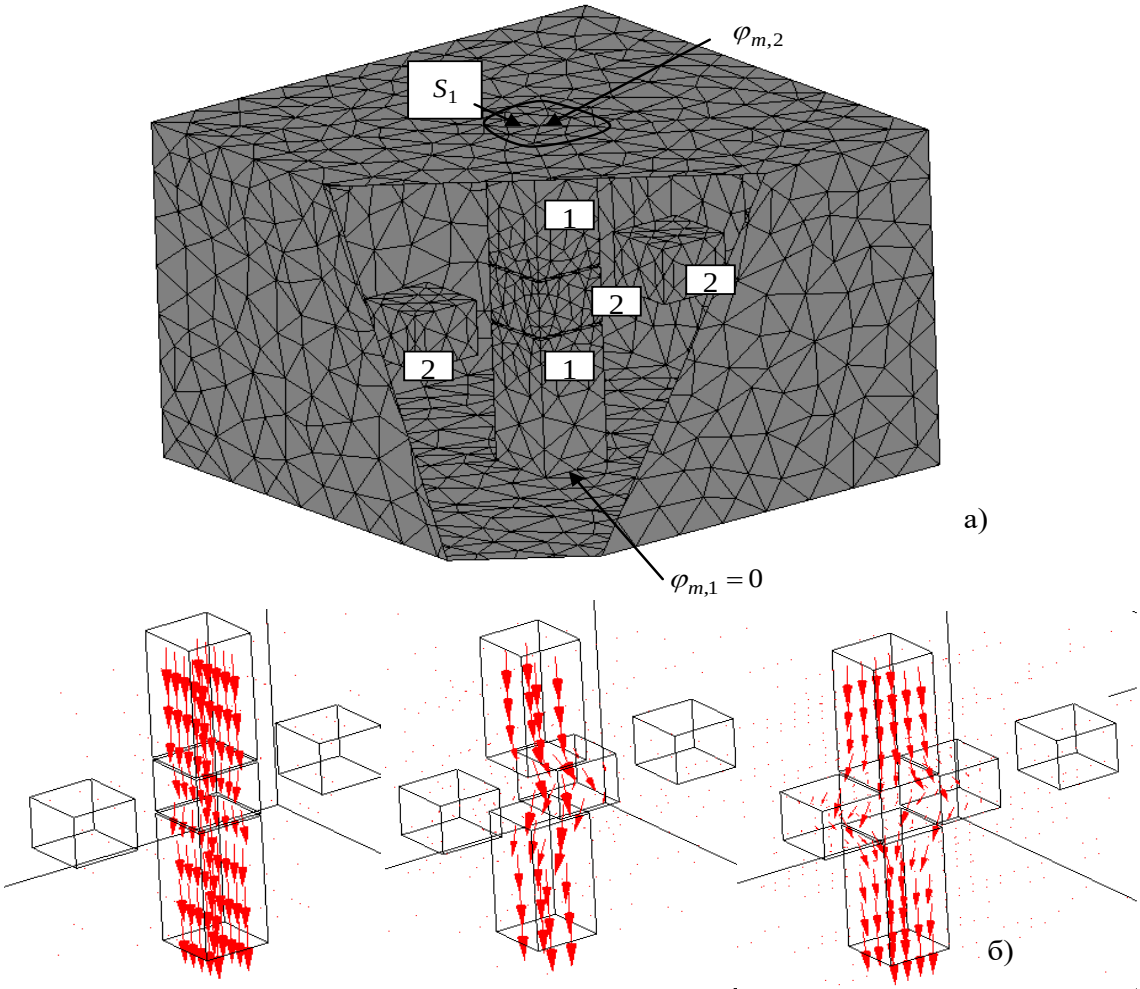


Рис. 3.
Fig. 3.

Наведена польова задача розраховувалася за допомогою пакету програм COMSOL. Після визначення розподілення скалярного магнітного потенціалу, значення магнітної провідності даної магнітної системи розраховувалось за виразами

$$\Lambda(x) = \Phi / (\varphi_{m,1} - \varphi_{m,2}), \quad \Phi = \int_{S_1} B_n dS, \qquad (2)$$

де: S_1 – поверхня верхнього полюса (див. рис. 3, а), а координата x показана на рис. 2 (б).

Для підтвердження достовірності одержаних залежностей також проводили експериментальні дослідження за допомогою фізичних лабораторних моделей. Методика експериментальних досліджень базувалася на визначенні індуктивного опору електромагнітної системи при зміні координатного положення феромагнітного елемента ротора відносно магнітопроводу статора за стабілізованої напруги та практично сталої частоти електромережі. Досліди виконували шляхом переміщення і фіксації феромагнітних елементів ротора відносно магнітопроводу статора з інтервалом 5 мм, що забезпечувало точність координатного положення за міліметровою шкалою в межах ±5%.

За результатами чисельного моделювання просторової моделі були отримані картини розподілу вектора магнітної індукції при різних координатних положеннях (див. рис. 3, б). Також із використанням виразу (2) була отримана залежність провідності магнітної системи Λ за різних координатних положень феромагнітного елемента кільцевого ротора x та порівняна із експериментальною залежністю, яка була побудована за описаною вище методикою на лабораторному стенді. Ці залежності – розрахункова 1 і експериментальна 2 – показані на рис. 4.

Розрахункова крива чисельного моделювання має помітні ділянки ламаної лінії, що викликано розміром сітки розбивки моделі, однак збіжність із результатами експерименту досить висока (розбіжність не перевищує 3%), що дозволяє застосовувати результати чисельного моделювання на основі побудованої спрощеної моделі магнітної системи ВРГ для дослідження залежності магнітної провідності від координатного положення за різної радіальної висоти h феромагнітних елементів кільцевого ротора; результати такого моделювання показані на рис. 5.

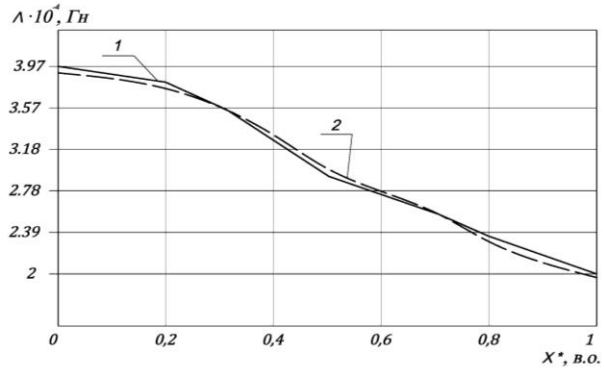


Рис. 4.
Fig. 4.

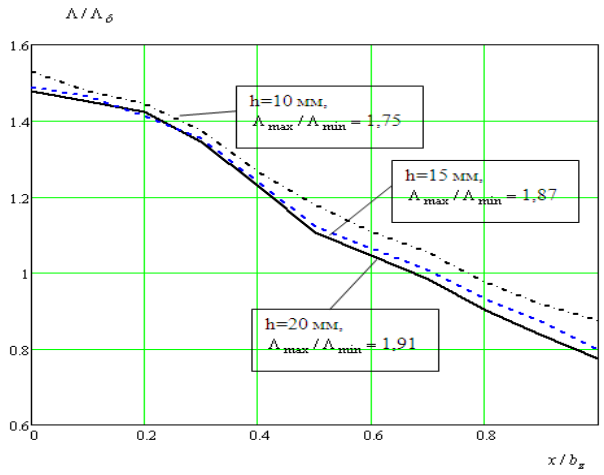


Рис. 5.
Fig. 5.

Графічні результати для однакових за площею перетину пакетів кільцевого ротора показують, що збільшення їх радіальної висоти викликає зменшення усіх поточних значень магнітної провідності, однак у різній мірі для максимумів і мінімумів. Зменшення максимальних значень магнітної провідності можна пояснити збільшенням довжини роторної магнітопровідної ділянки магнітного кола. Одночасно зменшення мінімальних значень провідності пояснюється збільшенням відстані між поверхнями магнітопроводу статора.

Проте останню залежність важко описати аналітично, оскільки одночасно із збільшенням відстані збільшуються і вертикальні бічні поверхні сусідніх магнітопровідних пакетів кільцевого ротора, що компенсує зменшення мінімальної магнітної провідності. Тому було прогнозовано, що існує таке значення висоти магнітопровідного пакету ротора, після якого збільшення цього розміру не викликатиме подальшого зростання різниці магнітних провідностей. В моделі була задана прямокутна геометрична форма перетину магнітопроводу статора, однакова з феромагнітними елементами ротора, яка єдина серед усіх можливих форм за обраного розміру l забезпечує максимальну площу суміщення нормальних проекцій поверхонь та лінійний характер зміни цієї площі в процесі руху ротора.

Були виконані розрахунки значень магнітної провідності для різних за розміром перетинів магнітопроводів квадратної форми відповідно зі сторонами квадратів 15, 25 і 35 мм. Кратність зміни магнітної провідності залежно від висоти пакета ротора за вказаних перетинів показана на рис. 6. Збільшення кратності пропорційно до збільшення площі перетину магнітопроводів узгоджується з математичним виразом магнітної провідності.

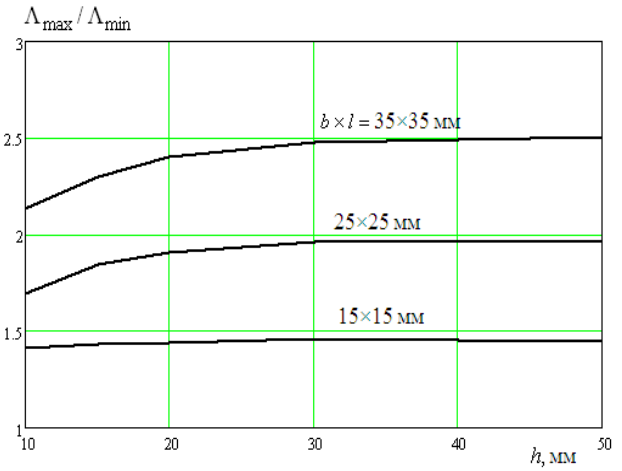


Рис. 6.
Fig. 6.

Одночасно прослідковується певна закономірність досягнення найбільшого значення кратності змін магнітної провідності для різних за перетином магнітопроводів. Так для магнітопроводу квадратного перетину зі стороною 15 мм кратність зростає при збільшенні висоти пакету ротора до близько 25 мм, відповідно для перетину зі стороною 25 мм максимальна кратність провідностей була за висоти h близько 30 мм, а для сторони 35 мм відповідно близько 37 мм. Тобто можна описати лінію тренду оптимальних співвідношень висоти і ширини квадратного перетину магнітопровідного пакету кільцевого ротора виразом: $h = 10{,}409\ln(b_z) - 3{,}907$ із достовірністю апроксимації близько 0,9. Слід зауважити, що наведене числове співвідношення матиме місце за умови виконання магнітопроводу із листової електротехнічної сталі близьких за показниками марок, однак за інших матеріалів загальний алгоритм оптимізації вірогідно буде подібним для електричних машин з радіально-кільцевим ротором. При цьому необхідно також враховувати фактичну різницю форми феромагнітного елемента кільцевого ротора і його лінійної розгортки, яка очевидно буде менш суттєвою за більшого його діаметра.

Висновки

1. Для низькообертової безтрансмісійної вітроелектричної установки перспективним є дугостаторний вентильний реактивний генератор з радіально-кільцевим ротором.

2. За допомогою програмного пакету “COMSOL” та із використанням методу фізичного моделювання визначено вплив габаритних розмірів феромагнітного

елемента кільцевого ротора на кратність зміни магнітної провідності електромагнітної системи такого типу генератора при різних положеннях ротора, що дозволяє встановлювати габаритні обмеження цієї системи.

3. Встановлені числові співвідношення геометричних розмірів феромагнітного елемента кільцевого ротора квадратного перетину, за яких досягається максимальне значення кратності зміни магнітної провідності електромагнітної системи в процесі його руху.

Список літератури

1. *Сінчук О. М., Козакевич І. А., Юрченко М. М.* Бездатчикове керування вентильними реактивними двигунами тягових електромеханічних систем. Технічна електродинаміка. 2017. №5. С. 62–66.

2. *Альпер Н. Я., Терзян А. А.* Индукторные генераторы. Москва. 1970. 192 с.

3. *Козирський В. В., Трегуб М. І.* Методологія вибору типу і геометричної конфігурації кільцевороторного дугостаторного генератора безредукторної вітроелектричної установки. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК». 5-6 листопада 2013 року. Київ. 2013. С. 57–58.

4. *Трегуб М. І., Козирський В. В.* Патент України №101118 UA, МПК H02K19/20, H02K21/38. Індукторний аксіальний генератор. №a201200837. Заявлено 27.01.2012. Опубліковано 25.02.2013. Бюл. №4.

5. *Eleonora Darie, Costin Cepisca and Immanuel Darie*. The use of switched reluctance generator in wind energy applications. Proceedings of EPE-PEMC. 2008. P. 1963–1966.

6. *H. Li and Z. Chen*. Overview of different wind generator systems and their comparisons. Proceedings of IET Renewable Power Generation. 2008. Vol. 2. No. 2. P. 123–138.

7. *M. Nassereddine, J. Rizk, and M. Nagrial*. Switched reluctance generator for wind power applications. Proceedings of World academy of science, Engineering and Technology. July 2008. 2008. Vol. 31. P. 126–130.

References

1. *Sinchuk E. M., Kozakevich I. A., Yurchenko M. M.* (2017). Sensorless control of switched reluctance motors of traction ectromechanical systems. Technical electrodynamics. No. 5. 62–66.

2. *Alper N. Y. Terzian, A. A.* (1970). Reluctance generators. Moscow. 192.

3. *Kozirsky V. V., Tregub M. I.* (2013). Determine methodology of the type and geomenric parameters of rin rotor wind turbine. Abstracts of the International scientific-practical conference "Problems and prospects of development of energy, Electrotechnology and automation in agriculture". 5-6 November 2013. Kiev. 57–58.

4. *Kozirsky V. V., Tregub M. I.* (2013). Patent of Ukraine No. 101118 EN, IPC H02K19/20, H02K21/38. Inductory axial generator. No. a201200837. 27.01.2012 stated. Published on 25.02.2013. Bull. No 4.

5. *Eleonora Darie, Costin Cepisca and Immanuel Darie*. (2008). The use of switched reluctance generator in wind energy applications. Proceedings of EPE-PEMC. 1963–1966.

6. *H. Li and Z. Chen*. (2008). Overview of different wind generator systems and their comparisons. Proceedings of IET Renewable Power Generation. Vol. 2. No. 2. 123–138.

7. *M. Nassereddine, J. Rizk, and M. Nagrial*. (2008). Switched reluctance generator for wind power applications. Proceedings of World academy of science, Engineering and Technology. July 2008. Vol. 31. 126–130.

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ГЕНЕРАТОРА С КОЛЬЦЕОБРАЗНЫМ РОТОРОМ

В. В. Козырский, А. Д. Подольцев, Н. И. Трегуб

Аннотация. С помощью методов численного моделирования и экспериментальных исследований определено влияние геометрических размеров ферромагнитных элементов кольцеобразного ротора вентильного реактивного генератора на кратность изменения магнитной проводимости электромагнитной системы при движении ротора. Определены числовые соотношения геометрических размеров этих элементов, при которых достигается максимальное изменение этой проводимости. Получены количественные зависимости ограничения радиальной высоты ферромагнитного элемента при различных размерах стороны его квадратного сечения.

Ключевые слова: ветроэлектрический вентильный реактивный генератор, кольцеобразный ротор, магнитная проводимость, оптимальные геометрические размеры, электромагнитная система.

SUBSTANTIATION OF MAGNETIC SYSTEM OF SWITCHED RELUCTANCE GENERATOR WITH ANNULAR ROTOR FOR WIND TURBINE

V. V. Kozirsky, O. D. Podoltsev, M. I. Tregub

Abstract. Using the methods of numerical simulation and experimental studies of the influence of the geometric dimensions of the ferromagnetic annular rotor elements of valve jet generator on the frequency of change of the magnetic permeability of the electromagnetic system when the rotor movement. Determined the numerical ratios of the geometric dimensions of these elements, in which achieved the maximum change in this conductivity. The obtained quantitative dependences limit the radial height of the ferromagnetic element at a side of the ego of square section.

Key words: switched reluctance generator, wind-electric turbine, ring rotor, magnetic conductivity, geometric parameters.

В. В. Козирський ORCID 0000-0001-6780-9750.
О. Д. Подольцев ORCID 0000-0002-9029-9397.
М. І. Трегуб ORCID 0000-0001-6558-0040.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 171-177
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.171-177

УДК 621.311

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ВЕЛИЧИН ЇХ ПОТУЖНОСТІ В РАДІАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 35 кВ

Д. П. Кожан

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Кореспонденція автора: kozhan14@i.ua.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 11, рис. 1, табл. 5.

Анотація. Запропонований підхід щодо математичних моделей визначення економічно доцільних місць розташування та обґрунтованих величин потужностей джерел розподіленої генерації (ДРГ) при впровадженні їх в радіальних розподільних електричних мережах напругою 10 кВ [4–6], рекомендується використати і для радіальних розподільних мереж напругою 35 кВ, що живляться від системного електропостачання. При цьому в економічно доцільних місцях розташування ДРГ враховується принцип рівності модулів напруги і їх кутів як критерій мінімізації втрат активної потужності та стабілізації рівнів напруги при зміні експлуатаційного режиму електричної мережі напругою 35 кВ.

Економічно доцільні місця розташування ДРГ визначаються по найбільшому значенню вузлових питомих транспортних витрат (ПТВ) в кожному окремо взятому відгалуженні мережі, а величини активних і реактивних потужностей у відповідних місцях визначаються згідно математичної моделі усталеного режиму з можливістю реалізації вибору складу відомих та пошукових вузлових характеристик.

Проведені та представлені в якості доказової бази експериментальні модельні дослідження щодо ефективності використання запропонованого в [4–6] підходу при впровадженні ДРГ в радіальних розподільних мережах напругою 35 кВ.

Ключові слова: розподільна електрична мережа, системне електропостачання, джерело розподіленої генерації, градієнтний метод, питомі транспортні витрати.

Постановка проблеми

Широке впровадження ДРГ (таких як, перетворювачі сонячної і вітрової енергії, ГЕС на малих ріках і т. п.) в радіальних розподільних електричних мережах напругою 6–35 кВ забезпечує чистоту навколишнього середовища, зменшує як витрати паливних і водних ресурсів, так і втрати електроенергії в мережах за рахунок наближення виробників електричної енергії до споживачів [1].

Однак, виникають проблемні питання пов'язані як з режимами напруги в мережі з ДРГ [8], так і з впливом ДРГ на властивості централізованого системного електропостачання [7].

При цьому одними із важливих питань є визначення економічно доцільних місць розташування ДРГ та обґрунтованих величин їх потужностей в розподільних мережах різного рівня напруги з врахуванням розподілу між живлячими мережу об'єктами [2, 3, 9–11].

Для вирішення вище вказаних питань щодо мереж напругою 35 кВ в даній статті пропонується запропонований і успішно вирішений в [4–6] підхід в два етапи:

1) визначення економічно доцільних місць розташування ДРГ згідно величин вузлових ПТВ;

2) визначення обґрунтованих величин активних і реактивних або тільки активних потужностей ДРГ в місцях економічного їх розташування за допомогою математичної моделі усталеного режиму з можливістю реалізації вибору складу відомих та пошукових вузлових характеристик.

Аналіз останніх досліджень

Питанням щодо визначення економічно доцільних місць розташування та обґрунтованих величин потужності ДРГ в радіальних розподільних електричних мережах займалися у різні часи такі вчені як Jegadeesan M. [9], Nitin Singh [10], Haesen E. [11], Воропай М.І., Кириленко О.В., Лежнюк П.Д., Козирський В.В. [3], Кирик В.В. [2], Тугай Ю.І., Кулик В.В. та інші.

Мета досліджень

Мета досліджень полягає в обґрунтуванні ефективності використання математичних моделей визначення економічно доцільних місць розташування та величин потужності ДРГ запропонованих в [4–6] при впровадженні малої генерації в радіальних розподіль-

них електричних мережах напругою 35 кВ, що живляться від системного електропостачання.

Результати досліджень

Як і в [4–6] для визначення економічно доцільних місць розташування ДРГ в радіальних розподільних електричних мережах напругою 35 кВ, які живляться від системного електропостачання, використано градієнтний метод, який реалізує вузлові ПТВ на передачу активної і реактивної потужностей по елементах електричної мережі. Математична модель вказаного методу на основі лінеаризованої системи рівнянь має вид

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial U_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial U_i} \end{bmatrix}^T \times \begin{bmatrix} \frac{\partial \pi}{\partial P_i} \\ \frac{\partial \pi}{\partial Q_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \pi}{\partial \theta_i} \\ \frac{\partial \pi}{\partial U_i} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де: $[\ ]^T$ – транспонована матриця частинних похідних (матриця Якобі) елементами якої є частинні похідні від небалансів активних і реактивних потужностей у вузлах схеми електричної мережі

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_i^P &= P_i + U_i^2 G_{ii} - \sum U_i U_j [G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \\ \varepsilon_i^Q &= Q_i - U_i^2 B_{ii} - \sum U_i U_j [G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

по відповідних пошукових вузлових характеристиках P_i, Q_i, θ_i і U_i, $\mathcal{E}$ – символ нев'язки, i – індекс вузла, який розглядається, j – поточний індекс вузла, який має безпосередній електричний зв'язок з вузлом що розглядається, G_{ii}, B_{ii}, G_{ij}, B_{ij} – відповідно власні та взаємні активні і реактивні провідності ділянок мережі (дійсні та уявні складові елементів матриці вузлової провідності), θ_i, θ_j, U_i, U_j – кути (фази) та модулі напруги i – го і j – го вузлів, P_i, Q_i – задані значення вузлових потужностей, π – сумарні втрати активної потужності в елементах схеми електричної мережі

$$\pi = \sum_{K=1}^{m} [U_i^2 + U_j^2 - 2U_i U_j \cos(\theta_i - \theta_j)] G_{ij}, \quad (3)$$

m – кількість ділянок мережі в якій пропонується встановлення ДРГ, $\partial\pi/\partial P_i$ – витрати активної потужності на транспорт одиниці активної потужності до i – го вузла схеми, $\partial\pi/\partial Q_i$ – витрати активної потужності на транспорт одиниці реактивної потужності до i – го вузла схеми, $\partial\pi/\partial\theta_i$ – похідна від сумарних втрат активної потужності в елементах мережі по куту напруги i – го вузла схеми

$$\frac{\partial \pi}{\partial \theta_i} = \sum_{j=1}^{n} [2U_i U_j \sin(\theta_i - \theta_j)] G_{ij}, \quad (4)$$

$\partial\pi/\partial U_i$ – похідна від сумарних втрат активної потужності в елементах мережі по модулю напруги i – го вузла схеми

$$\frac{\partial \pi}{\partial U_i} = \sum_{j=1}^{n} [2U_i - 2U_j \cos(\theta_i - \theta_j)] G_{ij}, \quad (5)$$

n – кількість ділянок мережі, що примикають до i – го вузла схеми.

Величини вузлових ПТВ $\partial\pi/\partial P_i$ і $\partial\pi/\partial Q_i$ визначаються для всіх вузлів схеми електричної мережі на основі результатів розрахунків режимів її максимального або перспективного вузлового навантаження.

Максимальні значення вузлових ПТВ $\partial\pi/\partial P_i$ і $\partial\pi/\partial Q_i$ вказують на найбільш економічно доцільні місця встановлення джерел відповідно активної і реактивної потужностей.

В розімкнутих мережах напругою 35 кВ, які мають декілька відгалужень від вузла системного живлення, максимальні значення вузлових ПТВ, а відповідно і найбільш економічно доцільні місця встановлення джерел потужності, визначаються окремо по кожному відгалуженню.

Для визначення обґрунтованих величин потужностей джерел активної і реактивної або тільки активної генерації використано модифікований метод Ньютона [5] матриця частинних похідних якого на відміну від класичного методу Ньютона включає частинні похідні $\partial\varepsilon_i^P / \partial P_i$, $\partial\varepsilon_i^P / \partial Q_i$, $\partial\varepsilon_i^Q / \partial P_i$ і $\partial\varepsilon_i^Q / \partial Q_i$. Ітераційний процес модифікованого методу виглядає згідно (2) як

$$\begin{bmatrix} P_i \\ Q_i \\ \theta_i \\ U_i \end{bmatrix}^{(K+1)} = \begin{bmatrix} P_i \\ Q_i \\ \theta_i \\ U_i \end{bmatrix}^{(K)} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial U_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial U_i} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \varepsilon_i^P \\ \\ \varepsilon_i^Q \end{bmatrix}^{(K)}, \quad (6)$$

При цьому поправки δP_i, δQ_i, $\delta\theta_i$ і δU_i до невідомих величин в (6) визначаються на кожному кроці ітераційного процесу розв'язанням системи лінійних рівнянь

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^P}{\partial U_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial P_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial Q_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial \theta_i} & \frac{\partial \varepsilon_i^Q}{\partial U_i} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta P_i \\ \delta Q_i \\ \delta \theta_i \\ \delta U_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_i^P \\ \\ \varepsilon_i^Q \end{bmatrix}, \quad (7)$$

Система лінійних рівнянь (7) розв'язується методом найменших квадратів і розглядається як визначена (кількість відомих дорівнює кількості невідомих) з різними комбінаціями відомих і пошукових величин. Виходячи з того, що в електричних системах існує тісний зв'язок між активними потужностями і кутами напруги та реактивними потужностями і модулями напруги, аналіз функції (3) показує, що для всіх генеруючих об'єктів (включаючи джерело системного живлення) розосереджених в електричній мережі рівність їх кутів напруги і (або) рівність модулів напруги призводить до збільшення кутів і (або) модулів напруги як у суміжних вузлах, так і у вузлах споживання між генеруючими об'єктами. При цьому відбувається перерозподіл потужностями між усіма генеруючими об'єктами із зменшенням значення функції (3).

При моделюванні усталеного режиму електричної мережі вибір складу відомих і пошукових вузлових характеристик у місцях розташування ДРГ дозволяє використовувати наступні вузлові моделі:

1) вузли з джерелами активної і реактивної потужності

$$U - const,\ \theta - const,$$
$$P - var,\ Q - var;$$

2) вузли з джерелами тільки активної потужності

$$Q - const,\ \theta - const,$$
$$P - var,\ U - var;$$

3) вузли з джерелами тільки реактивної потужності

$$U - const,\ P - const,$$
$$Q - var,\ \theta - var;$$

Моделі вузлів 2) і 3) можуть використовуватись в одному і тому ж відгалуженні у різних місцях, коли ПТВ по активній і реактивній потужності не співпадають по максимальній величині. Використання моделі вузла 2) можливе тільки при моделюванні усталеного режиму модифікованим методом Ньютона.

Крім того на відміну від класичного методу Ньютона і його модифікацій використання модифікованого методу Ньютона надає можливість всі пошукові активні і реактивні потужності у вузлах електричної схеми визначати безпосередньо без додаткового їх розрахунку після закінчення ітераційного процесу.

Моделювання щодо вище вказаного підходу в два етапи виконано на прикладі реальної схеми розподільної електричної мережі напругою 35 кВ (рис.1) з параметрами ділянок та величинами вузлового навантаження (згідно відгалужень I, II, III, IV і V), приведеними відповідно в табл. 1 і 2.

Схема включає 20 вузлів і 19 ділянок. Вузол живлення має номер 20.

Примітка. Відгалуження I, V, IV, II і III для визначення активних і реактивних потужностей ДРГ, а відгалуження I, V, III, IV і II тільки для активних.

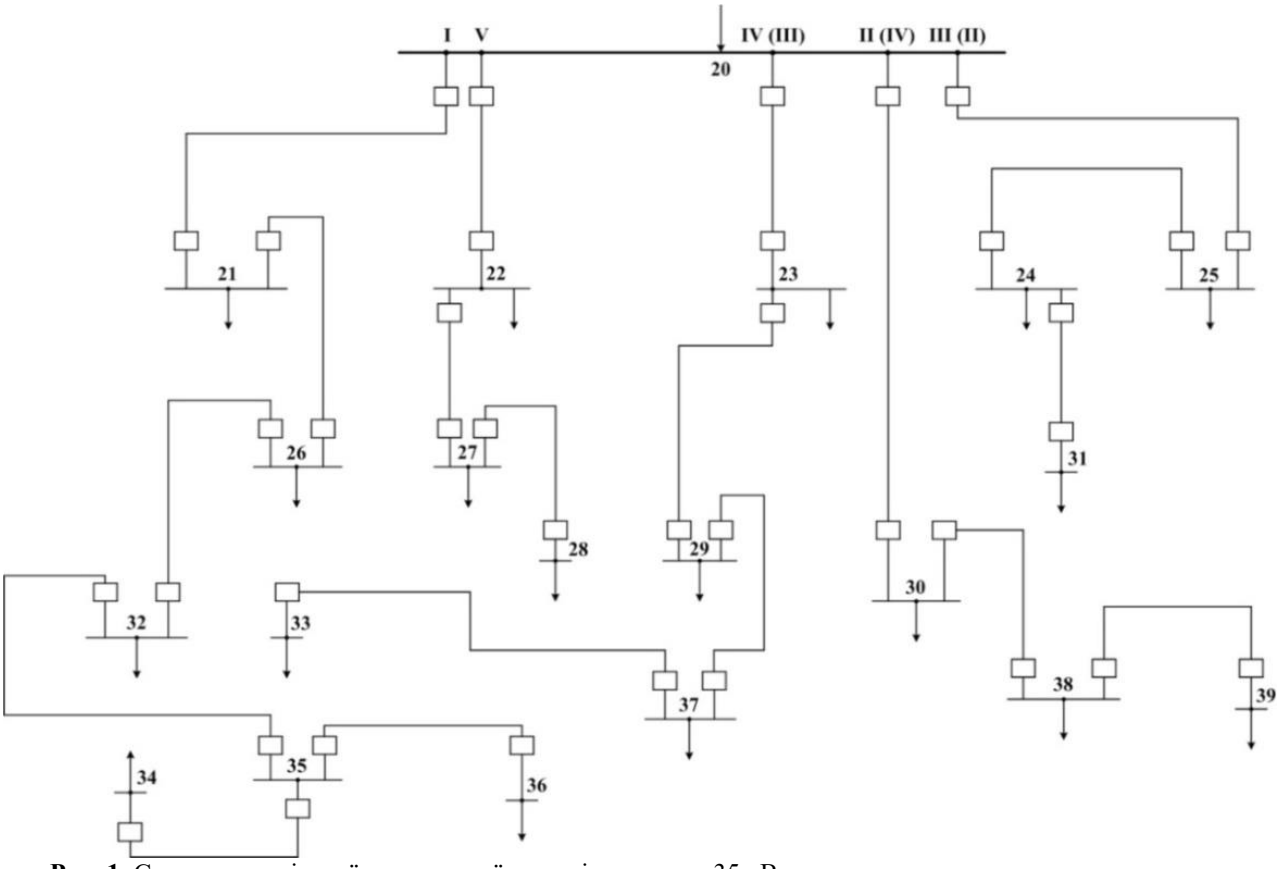


Рис. 1. Схема розподільної електричної мережі напругою 35 кВ.
Fig. 1. The scheme of power distribution networks with voltage of 35 kV.

Таблиця 1. Параметри ділянок мережі.
Table 1. The parameters of the network.

Ділянка мережі	Номінальна напруга, кВ	Марка проводу	Довжина ділянки (L), км	r_0, Ом/км	x_0, Ом/км	R, Ом	X, Ом	КТ, в.о.
20-21	35	АС-150	11	0,198	0,406	2,178	4,466	-
21-26	35	АС-95	4,47	0,306	0,421	1,368	1,882	-
26-32	35	АС-95	11,25	0,306	0,421	3,443	4,736	-
32-35	35	АС-95	25,5	0,306	0,421	7,803	10,74	-
35-34	35	АС-95	2,3	0,306	0,421	0,704	0,968	-
35-36	35	АС-95	10	0,306	0,421	3,06	4,21	-
20-22	35	АС-95	18,49	0,306	0,421	5,658	7,784	-
22-27	35	АС-70	5,15	0,428	0,432	2,204	2,225	-
27-28	35	АС-50	7,36	0,63	0,435	4,637	3,202	-
20-23	35	АС-95	6,5	0,306	0,421	1,989	2,737	-
23-29	35	АС-95	10,95	0,306	0,421	3,351	4,61	-
29-37	35	АС-95	6,2	0,306	0,421	1,897	2,61	-
37-33	35	АС-95	17,21	0,306	0,421	5,266	7,245	-
20-30	35	АС-95	16,41	0,306	0,421	5,021	6,909	-

Продовження табл. 1

Ділянка мережі	Номінальна напруга, кВ	Марка проводу	Довжина ділянки (L), км	r0, Ом/км	x0, Ом/км	R, Ом	X, Ом	КТ, в.о.
30-38	35	АС-95	2,13	0,306	0,421	0,652	0,897	-
38-39	35	АС-70	11,5	0,428	0,432	4,922	4,968	-
20-25	35	АС-120	23,4	0,249	0,414	5,827	9,688	-
25-24	35	АС-120	4,95	0,249	0,414	1,233	2,049	-
24-31	35	АС-70	6,4	0,428	0,432	2,739	2,765	-

Таблиця 2. Вузлові навантаження мережі в максимальному режимі.
Table 2. Nodal network load at max.

№ вузла	21	26	32	35	34	36	22	27	28	23	29	37	33	30	38	39	25	24	31
$P_н$, кВт	2160	1800	2160	0	1800	1800	1150	1150	1300	4320	1050	1350	2160	1450	1800	1400	1800	1800	1070
$Q_н$, кВар	1040	800	1040	0	870	870	560	700	150	2090	150	1500	1040	950	870	700	870	870	700

Таблиця 3. Розрахункові значення вузлових напруг схеми.
Table 3. The calculated values of the nodal scheme.

№ вузла	21	26	32	35	34	36	22	27	28	23	29	37	33	30	38	39	25	24	31
U, кВ	35,22	34,69	33,67	32,2	32,13	31,91	35,61	35,4	35,22	35,61	34,8	34,41	33,85	35,34	35,24	34,94	35,03	34,83	34,69

Дані щодо результатів моделювання режиму максимального навантаження у виді вузлових напруг приведені в табл. 3.

Втрати активної потужності в режимі максимального навантаження реальної розподільної електричної мережі склали ΔP = 1246,33 кВт.

1. Проведені розрахунки вузлових ПТВ для активних і реактивних потужностей ДРГ на основі результатів моделювання режиму максимального навантаження реальної схеми, приведені в табл. 4.

Значення вузлових ПТВ у наступних відгалуженнях схеми визначались з врахуванням економічно обґрунтованих потужностей розрахованих у попередніх відгалуженнях.

При цьому максимуму $\partial\pi/\partial P_i$ і $\partial\pi/\partial Q_i$ відповідають вузол 32 відгалуження I, вузол 39 відгалуження II, вузол 24 відгалуження III, вузол 29 відгалуження IV і вузол 27 відгалуження V, що відповідає умовам для розташування в них ДРГ.

2. Згідно з модифікованим методом Ньютона [5], проведені експериментальні дослідження щодо визначення обґрунтованих величин генерації активної і реактивної потужності у вузлах 32, 39, 24, 29 і 27 реальної схеми електричної мережі в порядку зменшення в них ПТВ, але найбільших у відповідному відгалуженні схеми.

Експериментальні розрахунки показали, що найбільш ефективним є визначення обґрунтованої величини активної і реактивної генерації при рівності вузлових напруг та їх кутів у місцях розташування джерел живлення, включаючи місце системного електропостачання.

Виходячи із рівності напруг та їх кутів усіх джерел живлення величини активної і реактивної генерації у вузлах 32, 39, 24, 29 і 27 реальної схеми електричної мережі визначались при напрузі рівній 36,5 кВ, включаючи вузол системного електропостачання.

Таблиця 4. Результати розрахунку вузлових питомих транспортних витрат.

Table 4. The results of the calculation of nodal transport costs per unit.

Номер вузла схеми	Напруга вузла системного електропостачання	
	36,5 кВ	
	Величини похідних	
	$\partial\pi/\partial P_i$	$\partial\pi/\partial Q_i$
21	-0,00712	0,05811
26	0,00174	0,03550
32	**0,02183**	**0,10071**
35	-0,00938	-0,03912
34	-0,00900	-0,03340
36	-0,00346	0,00736
22	0,04198	0,09223
27	**0,05365**	**-0,03782**
28	-0,03843	-0,27340
23	0,00593	0,02046
29	**0,04071**	0,04554
37	0,00371	0,01618
33	0,02539	**0,13593**
30	0,01257	0,00654
38	-0,02638	-0,05056
39	**0,04960**	**0,02543**
25	-0,04780	-0,33159
24	**0,04160**	**-0,24492**
31	0,02400	-0,35168

При цьому величина активної генерації у вузлі 32 склала 7762,5 кВт, реактивної 3644,8 кВар, а втрати активної потужності в мережі зменшились з

1246,33 кВт до 801,13 кВт. Для додаткових розташувань ДРГ у вузлах 39, 24, 29 і 27 величини активної генерації склали 3268,43 кВт, 4360,36 кВт, 6228,56 кВт і 3341 кВт, реактивної 1593,91 кВар, 2293,82 кВар, 3549,93 кВар і 1245,33 кВар із зменшенням втрат активної потужності відповідно до 697,82 кВт, 556,65 кВт, 326,69 кВт та 248,89 кВт. Загальна величина економії становить 1246,33 кВт – 248,89 кВт = 997,44 кВт. Величини реактивних потужностей ДРГ визначались відповідно до рівності модулів вузлових напруг, а коефіцієнти їх потужностей склали для вузла 32 – 0,91, для вузла 39 – 0,9, для вузла 24 – 0,9, для вузла 29 – 0,9 і для вузла 27 – 0,94, які знаходяться в границях 0,9 – 0,95, що відповідає технічним характеристикам перетворювачам сонячної та вітрової енергії.

Основні результати приведених вище модельних експериментальних досліджень згідно вибраної для досліджень реальної схеми електричної мережі наведені в табл. 5.

Таблиця 5. Основні результати експериментальних досліджень.
Table 5. The main results of experimental studies.

Порядок впровадження ДРГ	Місця розташування (вузли)	Модуль напруги, кВ	Генерація активної потужності, кВт	Генерація реактивної потужності, кВар	$cos\ \varphi$	Зниження втрат ΔP_{Σ} по схемі, кВт
1	32	36,5	7762,5	3644,8	0,91	801,13
2	39	36,5	3268,43	1593,91	0,9	697,82
3	24	36,5	4360,36	2293,82	0,9	556,65
4	29	36,5	6228,56	3549,93	0,9	326,69
5	27	36,5	3341	1245,33	0,94	248,89

Аналіз модельних експериментальних досліджень показав, що зміна місць розташування ДРГ або збільшення чи зменшення визначеної генерації у вузлах з найбільшими ПТВ призводять до збільшення втрат активної потужності в мережі, що свідчить про економічну доцільність визначених місць розташування та обґрунтованість величин активних і реактивних потужностей ДРГ для заданих умов експлуатації розподільної електричної мережі.

3. Проведені також експериментальні дослідження щодо визначення обґрунтованих величин активних потужностей ДРГ при рівності кутів вузлових напруг. Вузлові ПТВ для активних потужностей ДРГ відповідають наступним вузлам і їх величинам: вузол 32 – $\partial\pi/\partial P_i$ = 0,02183, вузол 31 – $\partial\pi/\partial P_i$ = 0,05956, вузол 33 – $\partial\pi/\partial P_i$ =0,02495, вузол 39 – $\partial\pi/\partial P_i$ = 0,66549 і вузол 28 – $\partial\pi/\partial P_i$ = 0,01416. При цьому величина активної генерації джерел живлення у вузлі 32 склала 5428,4 кВт, у вузлі 31 – 2469,02 кВт, у вузлі 33 – 2367,55 кВт, у вузлі 39 – 1930,81 кВт і у вузлі 28 – 2046,13 кВт. Сумарні втрати активної потужності по схемі зменшились з 1246,33 до 542,17 кВт.

Крім того в результаті досліджень було виявлено: використання принципу рівності напруг джерел живлення в процесі експлуатації надає можливість отримувати обґрунтовані значення активних потужностей впроваджених в радіальну розподільну електричну мережу ДРГ при зміні експлуатаційного режиму вузлового навантаження мережі; найбільш ефективним при впровадженні ДРГ є використання в різних комбінаціях як активних, так і реактивних джерел енергії.

Висновки

1. Використання методу ПТВ надає можливість розробки простих і достатньо ефективних моделей для визначення економічно доцільних місць розташування ДРГ в радіальних розподільних електричних мережах, що живляться від системного електропостачання.

2. Для визначення обґрунтованих потужностей ДРГ з розташуванням їх в економічно доцільних місцях пропонується використовувати модифікований метод Ньютона з визначенням поправок до невідомих на кожному кроці ітераційного процесу вирішенням системи лінеаризованих рівнянь методом найменших квадратів (включення частинних похідних по активній і реактивній вузлових потужностях призводить до несиметричності матриці частинних похідних відносно діагоналі).

3. Модифікований метод Ньютона, який полягає в доповненні матриці частинних похідних похідними $\partial\varepsilon_i^P / \partial P_i$, $\partial\varepsilon_i^P / \partial Q_i$, $\partial\varepsilon_i^Q / \partial P_i$ та $\partial\varepsilon_i^Q / \partial Q_i$ надає можливість використовувати вузлові характеристики P_i, Q_i, θ_i і U_i в різних комбінаціях відомих та пошукових вузлових величин.

4. Модельні експериментальні дослідження показали, що при визначенні потужностей ДРГ в радіальних розподільних мережах 35 кВ, найбільш доцільним є рівність напруги величиною 36,5 кВ в місцях приєднання виробників електроенергії, включаючи місце системного живлення.

Також модельні експерименти показали ефективність використання методик запропонованих в [4–6] і при впровадженні ДРГ в радіальних розподільних електричних мережах напругою 35 кВ, що живляться від системного електропостачання.

Проводяться дослідження по використанню методики щодо економічно доцільних місць розташування і обґрунтованих величин потужності ДРГ в складнозамкнених електричних мережах.

Список літератури

1. Зміни встановленої потужності ОЕС України [Електронний ресурс] / Режим доступу:

http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk /publish/article?art_id=149524&cat_id=35061_2014.

2. *Кирик В. В., Губатюк О. С.* Сенсорний метод пошуку місця встановлення джерела розподіленого генерування. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 6. С. 136–140.

3. *Козирський В. В., Гай О. В., Бодунов В. М.* Рекомендації щодо вибору потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах сільських регіонів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2012. Вип. 174 (2). С. 24–30.

4. *Скрипник А. М., Кожан Д. П.* Пропозиції щодо пошуку економічних місць розташування та величин потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах, які живляться від системного електропостачання. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 268. С. 125–135.

5. *Скрипник А. Н., Кожан Д. П., Ковалева В. В.* Модификация метода Ньютона и ее использование при расчетах режимов распределительных электрических сетей напряжением до 110 кВ. Инновации в сельском хозяйстве. 2015. Вып. 4 (14). С. 14–20.

6. *Скрипник А. М., Кожан Д. П.* Визначення економічно доцільних місць розташування та обґрунтованих величин потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах, які живляться від системного електропостачання. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2017. Вип. 186. С. 114–118.

7. *Бартоломей П. И., Паниковская Т. Ю., Чечушков Д. А.* Анализ влияния распределенной генерации на свойства ЭЭС. Объединенный симпозиум в рамках проекта АТЭС. Энергетические связи между Россией и Восточной Азией: стратегии развития в XXI веке. Иркутск, 2010. С. 4–5.

8. *Яндульський О. С., Труніна Г. О.* Визначення зон ефективного регулювання напруги джерелами розосередженої генерації з інверторним приєднанням у розподільній електричній мережі. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2014. № 4.

9. *Jegadeesan M., Keerthana V.* Optimal Sizing and Placement of Distributed Generation in Radial Distribution Feeder Using Analytical Approach. International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology. 2014. Vol. 3. P. 358–364.

10. *Singh N., Ghosh S., Murari K.* Optimal Sizing and Placement of DG in a Radial Distribution Network using Sensitivity based Methods. International Electrical Engineering Journal. 2015. Vol. 6, No. 1. P. 1727–1734.

11. *Haesen E., Espinoza M., Pluymers B., Goethals I., Thong V. V., Driesen J., Belmans R., Moor B. D.* Optimal placement and sizing of distributed generator units using genetic optimization algorithms. Electrical Power Quality and Utilisation Journal. 2005. Vol. 1, No. 1. P. 97–104.

References

1. Changes in the installed capacity of the UES of Ukraine. Available at : http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=149524&cat_id=35061_2014.

2. *Kyryk V. V., Hubatiuk O. S.* (2015). Sensory method of searching for the location of the source of distributed generation. The bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute, No. 6, 136–140.

3. *Kozyrskyi V. V., Hai O. V., Bodunov V. M.* (2012). Recommendations on the choice of power of distributed generation sources in distributive electric networks of rural regions. Scientific bulletin of the NUBiP of Ukraine. Series: Technique and Power Engineering of Agroindustrial Complex, Iss. 174, Pt. 2, 24–30.

4. *Skrypnyk A. M., Kozhan D. P.* (2017). Suggestions on search of economic places of location and the magnitudes of power the sources of distributed generation in distribution electric networks, which are powered by the systemic electricity supply. Scientific bulletin of the NUBiP of Ukraine. Series: Technique and Power Engineering of Agroindustrial Complex, Iss. 268, 125–135.

5. *Skripnik A. N., Kozhan D. P., Kovaleva V. V.* (2015). Modification of the method of Newton and its use in modes calculation electricity distribution networks with voltage up to 110 kV. Innovations in agriculture, No. 4 (14), 14–20.

6. *Skrypnyck A. M., Kozhan D. P.* (2017). Determination of economically perfect places of location and based values of power of sources of distributed generation in distribution electric networks which feed from system electrical supply. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko, Iss. 186, 114 – 118.

7. *Bartolomey P. I., Panikovskaya T. Yu., Chechushkov D. A.* (2010). Analysis distributed generation effect on the properties of EES. Joint symposium within the framework of the APEC project. Energy ties between Russia and East Asia: Development Strategy in the XXI century. Irkutsk, 4–5.

8. *Yandulskyi O. S., Trunina H. O.* (2014). Determination of zones of effective regulation of voltage by sources of dispersed generation with inverter connection in the distribution electric network. Scientific works of Vinnitsa National Technical University, 4.

9. *Jegadeesan M., Keerthana V.* (2014). Optimal Sizing and Placement of Distributed Generation in Radial Distribution Feeder Using Analytical Approach. International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology. Vol. 3, 358–364.

10. *Singh N., Ghosh S., Murari K.* (2015). Optimal Sizing and Placement of DG in a Radial Distribution Network using Sensitivity based Methods. International Electrical Engineering Journal. Vol. 6. No. 1, 1727–1734.

11. *Haesen E., Espinoza M., Pluymers B., Goethals I., Thong V. V., Driesen J., Belmans R., Moor B. D.* (2005). Optimal placement and sizing of distributed generator units using genetic optimization algorithms. Electrical Power Quality and Utilisation Journal. Vol. 1. No. 1, 97–104.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ И ВЕЛИЧИН ИХ МОЩНОСТИ В РАДИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ

Д. П. Кожан

Аннотация. Предложенный подход относительно математических моделей определения экономически целесообразных мест расположения и обоснованных величин мощностей источников распределенной генерации (ИРГ) при внедрении их в радиальных распределительных электрических сетях напряжением 10 кВ [4–6], рекомендуется использовать и для радиальных распределительных сетей напряжением 35 кВ, питающихся от системного электроснабжения. При этом в экономически целесообразных местах расположения ИРГ учитывается принцип равенства модулей напряжения и их углов как критерий минимизации потерь активной мощности и стабилизации уровней напряжения при изменении эксплуатационного режима электрической сети напряжением 35 кВ.

Экономически целесообразные места расположения ИРГ определяются по наибольшему значению узловых удельных транспортных расходов (УТР) в каждом отдельно взятом ответвлении сети, а величины активных и реактивных мощностей в соответствующих местах определяются согласно математической модели установившегося режима с возможностью реализации выбора состава известных и поисковых узловых характеристик.

Проведенные и представлены в качестве доказательной базы экспериментальные модельные исследования относительно эффективности использования предложенного в [4–6] подхода при внедрении источников распределенной генерации в радиальных распределительных сетях напряжением 35 кВ.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, системное электроснабжения, источник распределенной генерации, градиентный метод, удельные транспортные расходы.

DETERMINATION OF LOCATION SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION AND MAGNITUDES OF THEIR POWER IN RADIAL ELECTRIC NETWORKS WITH VOLTAGE OF 35 kV

D. P. Kozhan

Abstract. The proposed approach to mathematical models for determining economically feasible locations and reasonable values of the power of sources of distributed generation (SDG) when they are introduced into 10 kV radial distribution electric networks [4–6], is recommended to be used for 35 kV radial distribution networks that are powered by a system power supply. Moreover, in economically feasible locations of SDG, the principle of equality of voltage modules and their angles is taken into account as a criterion for minimizing active power losses and stabilizing voltage levels when changing the operating mode of an electric network with a voltage of 35 kV.

Economically feasible locations of SDG are determined by the highest value of nodal specific transport costs (STC) in each individual network branch, and the values of active and reactive capacities in appropriate places are determined according to the mathematical model of the steady state with the possibility of making a choice of the composition of known and search nodal characteristics.

Experimental model studies conducted and presented as evidence base on the effectiveness of using the approach proposed in [4–6] when introducing sources distributed generation in 35 kV radial distribution networks.

Key words: distribution electrical network, systemic electricity supply, the source of distributed generation, the gradient method, specific transport costs.

Д. П. Кожан ORCID 0000-0002-9873-6344.

Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 179-186
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.179-186

УДК 547.458.2

АМІНОКИСЛОТНИЙ СКЛАД МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ ФЕРМЕНТОВАНИХ МІКРООРГАНІЗМАМИ РІЗНИХ ТАКСОНОМІЧНИХ ГРУП

Л. В. Баль-Прилипко[1], С. Г. Даниленко[1], О. І. Потемська[2], О. В. Науменко[1], Т. А. Крижська[3]

[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
[2]Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук, Україна.
[3]Сумський національний аграрний університет, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: svet1973@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2020, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 22, рис. 1, табл. 4.

Анотація. У статті представлено метод вирішення проблеми підвищення біологічної цінності молочних продуктів за рахунок залучення до заквашувальної мікробіоти культур біфідо- та пропіоновокислих бактерій та розраховано амінокислотний скор отриманих продуктів.

Мета дослідження впливу мікроорганізмів різних таксономічних груп на формування амінокислотного складу готових кисломолочних напоїв.

Методика реалізації. Визначення амінокислотного складу молочних продуктів проводили на амінокислотному аналізаторі «Biotronik LC-2000». Об'єктами дослідження було ферментоване молоко бактеріями різних таксономічних груп з колекції відділу біотехнології Інституту продовольчих ресурсів НААН.

Визначено зразки, білок яких найбільше збалансований за амінокислотним складом. Зміни в амінокислотному складі молочних продуктів обумовлені в основному коливаннями замінних амінокислот. Співвідношення незамінних і замінних амінокислот може бути показником повноцінності білків молочних продуктів залежно від штаму мікроорганізмів. Збагачення молочного продукту біфідо- та пропіоновокислими бактеріями призвело до збільшення незамінних амінокислот у сумарному вигляді на 80%.

Зроблено висновок, що склад заквашувального препарату для молочних продуктів суттєво впливає на біологічну цінність готового продукту. Тому слід розширювати асортимент заквашувальних препаратів за рахунок залучення мікрооргвнізмів різних таксономічних груп.

Ключові слова: амінокислота, біологічна цінність, молочні продукти, мікроорганізми, жирні кислоти.

Постановка проблеми

Дієтична цінність кисломолочних продуктів визначається їх хімічним складом, який характеризується збалансованим співвідношенням поживних основних речовин: білку, жиру, вуглеводів, мінеральних речовин. Особливістю амінокислотного складу ферментованих молочних продуктів є накопичення тих амінокислот, які помірно або зовсім не використовуються у метаболізмі мікроорганізмів заквашувальної мікробіоти. Актуальним завданням є вивчення впливу мікроорганізмів різних таксономічних груп на амінокислотний склад ферментованих продуктів. Саме це може допомогти споживачу оцінити харчову цінність молочного продукту

Аналіз останніх досліджень

Дієтичні властивості кисломолочних продуктів полягають, насамперед, в тому, що вони покращують обмін речовин, стимулюють виділення шлункового соку і збуджують апетит. Наявність у їх складі мікроорганізмів, здатних призвичаїтися у кишечнику і пригнічувати патогенну мікробіоту, призводить до гальмування гнильних процесів і припинення утворення отруйних продуктів розпаду білку, що потрапляють в кров людини.

Вміст у молоці вільних амінокислот та розчинних низькомолекулярних пептидів доволі низький і здатний забезпечити потреби лактобактерий лише на 8–16% [1]. Але молоко містить 3–3,5% казеїну, що компенсує нестачу необхідних азотвмісних сполук після його гідролізу протеазами та пептидазами молочнокислих бактерій.

Молочні продукти є джерелом білку, який є легкозасвоюваним в порівнянні з молоком. Білки кисломолочних продуктів забезпечують весь набір незамінних амінокислот, які не продукують організмом і повинні надходити з їжею. У 200 мл йогурту міститься близько 25% від необхідного добового надходження кальцію і вітаміну B_{12}, 20% – фосфору, 15% – вітаміну B_2 і цинку, 10% – білка, калію, магнію, вітаміну B_1 [2].

Білки молока багаті найбільш дефіцитними незамінними амінокислотами, яких часто бракує в раціоні харчування людини, до них відносяться триптофан, метіонін, лізин. Особливостями амінокислот-

ного складу ферментованих молочних продуктів є накопичення підвищеної кількості тих амінокислот, котрі помірно або зовсім не використовуються у метаболізмі мікроорганізмів заквашувальних культур. Зокрема, у кисломолочних напоях спостерігається посилене накопичення глутамінової кислоти, проліну, у меншій мірі аланіну та серіну [3]. Метіонін бере участь у функціональній діяльності печінки, необхідний для профілактики атеросклерозу [4]. Триптофан є одним з росткових факторів, а лізин бере участь в кровотворенні, підтримці азотистого рівноваги в організмі [5]. Засвоюваність білків молочних продуктів становить 95-97% [6].

Одним з основних умов підвищення органолептичних властивостей молочнокислих продуктів є підбір виробничоцінних штамів різних таксономічних груп, що володіють низькою енергією кислотоутворення і високою протеолітичною активністю.

Різним видам та штамам молочнокислих мікроорганізмів притаманний неоднаковий ступінь протеолітичної активності, так, паличкові форми можуть переводити у розчинну форму 16–30 % казеїну, тоді як коки – лише 9–17 % [7]. Протеолітична активність молочнокислих мікроорганізмів має видову і штамову специфічність. Найвищою здатністю до протеолізу характеризуються лактобацили *Lb. helveticus, Lb. bulgaricus, Lb. acidophilus* і *Lb. casei*. Вони можуть перевести у розчинну форму до 25–30% казеїну. Дещо слабкішими за цією ознакою є мезофільні лактококи роду *Lactococcus* – 15–20% утилізованого казеїну, а *S. salivarius* subsp. *thermophilus* є найслабкішими протеолітами – всього 14–15% утилізованого казеїну [8, 9].

Вивчаючи зміну амінокислотного спектру при розвитку *S. thermophilus* та *L. bulgaricus* встановили, що особливо чітко відмінності протеолітичної активності цих культур спостерігаються в перші години розвитку [10].

Термофільні стрептококи в перші 6 годин культивування споживали майже всі вільні амінокислоти вихідного молока. Вони повністю використовували гліцин, сірин, аланін, тирозин, метіонін та валін. За той самий час лактобацили встигали накопичити значну кількість амінокислот, серед яких – гістидин, аргінін, тирозин, фенілаланін та лейцин. Зменшувався , як правило, вміст треоніну. В змішаних культурах вміст вільних амінокислот був меншим, ніж в чистих культурах молочнокислих паличок, що пояснювалось споживанням їх стрептококами [11].

Загальною характерною особливістю для всіх видів молочнокислих бактерій є інтенсивне нагромадження амінного азоту у період активного їх росту (до 3 діб), а також підвищення розчинних азотистих речовин та зниження вмісту загального розчинного і амінного азоту протягом всього досліджуваного періоду [12].

Протеолітична система молочнокислих та біфідобактерій представлена протеазами та пептидазами. Перший етап розкладу казеїну відбувається під дією протеаз. Ці ферменти характеризуються високою молекулярною вагою (80–145 кДа) з оптимумом pH в межах 5,5–6,5 і активуються або стабілізуються іонами кальцію. Протеази лактобактерій переважно гідролізують білкові фрагменти, але можуть вибірково атакувати і фракції нативного казеїну. Вони, як правило, зв‘язані з клітинною стінкою і цитоплазматичною мембраною [13].

Виявлено протеолітичн усистему у пропіоновокислих бактерій, що використовуються у молочній промисловості [14]. Вона містить два типи різних протеаз, а саме, одні з них асоційовані з клітиною стінкою і діють виключно на β-казеїн у експоненціальній фазі росту, тоді як інші реєструються наприкінці активного росту і характеризуються меншою специфічністю. Останні ферменти локалізовані на клітинній мембрані.

Глибший розпад білків здійснюється пептидазами – амінопептидазою, імінопептидазою, ди- і трипептидазою, проліназою, пролідазою, ендопептидазою і карбоксилпептидазою.

Ці активності були визначені у мезофільних лактококів *L. lactis, L. cremoris, L. diacetilactis* та термофільних лактобацил *Lb. helveticus, Lb. bulgaricus* і *Lb. acidophilus* [15]. Більшу кількість вільних амінокислот, у порівнянні із стрептококами, накопичують *L.bulgaricus* та *L.acidophilus* (до 15 мг%), види *L.casei* та *L.plantarum* – значно менше (до 6,8 мг%). Ці відмінності пояснюються зниженою протеолітичною активністю стрептококів, та їх більшими потребами у вільних амінокислотах у порівнянні з паличками.

Остаточно механізм утилізації коротколанцюгових пептидів (до 6 амінокислотних залишків) молочнокислими бактеріями ще не визначений.

Вважається, що первинний гідроліз пептидів здійснюється пептидазами клітинної стінки поза клітиною, а потім дипептиди переносяться в середину клітини специфічними транспортними системами, де й гідролізуються цитоплазматичними пептидазами до амінокислот [16].

Ступінь протеолітичної активності молочнокислих бактерій залежить від фази розвитку мікроорганізмів, і в період їх інтенсивного росту активність протеолізу вища [17].

Необхідно відмітити, що специфічність протеолітичних ферментів лактобактерій багато в чому визначає сенсорні характеристики та дієтичні властивості ферментованих молочних продуктів [18].

Отже, протеолітичну активність можна розглядати як ще один критерій відбору виробничо цінних штамів лактобактерій. По-перше, ця властивість характеризує здатність мікроорганізму розщеплювати білок і використовувати продукти його розпаду для власного конструктивного обміну речовин

У цьому випадку за ступенем утворення і використання, в першу чергу, вільних амінокислот можна судити про активність розмноження і деяких інших процесів життєдіяльності мікроорганізму.

По-друге, не використані мікроорганізмами в процесі їх метаболізму і накопичені в середовищі гідролізати білків, підвищують дієтичні властивості, харчову цінність і органолептичні показники ферментованих молочних продуктів.

Мета досліджень

Мета дослідження – дослідження впливу мікроорганізмів різних таксономічних груп на перебіг процесів перетворення азотистих сполук та формування амінокислотного складу готових кисломолочних напоїв.

Результати досліджень

Об'єктами дослідження було ферментоване молоко бактеріями різних таксономічних груп з колекції відділу біотехнології Інституту продовольчих ресурсів НААН. Для виготовлення кисломолочних продуктів використовували пастеризоване молоко 2,5%. Сквашували до досягнення в продуктах титрованої кислотність 70°Т за температури 37℃.

Масову частку загального білка та небілкового азоту визначали методом К'єльдаля (ДСТУ ISO 8968:2005 – частини 2,4; ДСТУ ISO 17997-1/IDF 29-1:2009 (дигестор і дистилятор «Fisher Bioblock Scientific», Італія).

Амінокислотний аналіз проводили на амінокислотному аналізаторі «Biotronik LC-2000» (Німеччина) з фотоколориметричним детектором. Детекцію проводили на довжині хвилі 570 нм. Для цього проводили гідроліз білка обробкою 0,1 мл молока 6 н розчином HCl, відгонкою повітря в струмі аргону, витримкою за температури 120°С протягом 24 год, випарюванні за допомогою ротаційного випарювача «RVO 400» («Ingos, s.r.o.», Чеська Республіка), розчинення в буфері з pH 2,2.

Титрована кислотність проби w, в градусах Тернера, дорівнює обсягу водного розчину гідроксиду натрію 0,1 N, витраченого на нейтралізацію 10 г кисломолочного продукту, помноженого на 10. За остаточний результат приймали середньоарифметичне значення результатів двох паралельних вимірювань.

Амінокислотний скор (%), розраховано за формулою [19]:

$$AC = \frac{AK_x}{AK_c} \cdot 100, \quad (1)$$

де AC – амінокислотний скор; AK_x – вміст амінокислоти у досліджуваному продукті, мг/г білку; AK_c – вміст амінокислоти у еталонному білку, мг/г білку.

Вміст летких органічних кислот у молочних згустках (дистиляційне число) визначали за мікрометодом [20].

Білки кисломолочних продуктів повністю перетравлюються в кишківнику людини. Розщеплення білків відбуваються під впливом ферментів заквашувальної мікробіоти. Ступінь розщеплення білків залежить від штаму мікроорганізмів.

Вміст загального азоту і білка та титрованої кислотності в дослідних зразках наведено в таблиці 1.

Аналіз даних показав, що відзначено збільшення масової частки білку у варіанті Д1 та Д4 в порівнянні з варіантами Д2 та Д3, але різниця статистично не достовірна.

Спостерігається зменшення загального азоту, загального білку в комбінації штамів для кисломолочного продукту з вмістом біфідобактерій та пропіоновокислих бактерій у порівнянні з комбінацією штамів Д4. Це свідчить про те, що продукт посилюється протеолітичною активністю біфідобактерій та прискоренням засвоєння інших азотистих сполук молока.

Титрована кислотність зразків була на рівні від 105 °Т до 114 °Т. Ці штами не є активними кислотоутворювачами.

Дані про вміст амінокислот в ферментованому молоці різними штамами *St. thermophilus* та їх композицією, представлені в таблиці 2.

Всього було виявлено 16 амінокислот, в тому числі 7 незамінних, що свідчить про високу біологічну цінність отриманих продуктів.

За сумою незамінних амінокислот білок молока ферментованого штамом *St. thermophilus 2176* значно відрізняється від білка молока ферментованого штамом *St. thermophiles* 2120. Наприклад, за кількістю лізину, фенілаланіну, валіну – на 1503,6 %, 295,5 % та 268,2 %. Метіонін та ізолейцин були відсутні у продуктів ферментованого штамом *St. thermophiles* 2120. Самоквасне молоко (К) містило лише одну незамінну амінокислоту – лізин у кількості 57 мг/100г.

Таблиця1. Загальна кількість білку в дослідних штамах та їх комбінаціях.
Table 1. The total amount of protein in the experimental strains and their combinations.

Дослід	Штами	Масова концентрація, %		Кислотность через 12 год. скашивания, °Т
		Загальний азот	Загальний білок	
Д1	*St. thermophilus* 2176	0,497±0,002	3,166±0,03	110±3
Д2	*St. thermophilus* 2120	0,433±0,001	2,758±0,01	114±2
Д3	*St. thermophilus* 2138	0,455±0,001	2,898±0,02	111±3
Д4	Комбінація штамів *St. thermophilus* 1:1:1	0,473±0,002	3,013±0,02	116±4
Д5	*B. bifidum* 4101	0,476±0,002	3,032±0,02	105±5
Д6	*B. longum* 4201	0,452±0,001	2,879±0,01	114±3
Д7	*B. adolescentis 4400*	0,465±0,002	2,962±0,01	108±4
Д8	*P. freudenreichii H-110*	0,443±0,001	2,821±0,02	-
Д9	Комбінація штамів (Д4+Д5+Д6+Д7+Д8)	0,469±0,003	2,988±0,02	117±4

Таблиця 2. Якісний та кількісний склад амінокислот у ферментованому молоці різними штамами *St. thermophilus* та їх композицією.

Table 2. Qualitative and quantitative composition of amino acids in fermented milk by different strains of *St. thermophilus* and their composition.

Амінокислоти	Вміст, мг/100г продукту				
	К	*Д1*	*Д2*	*Д3*	*Д4*
Незамінні амінокислоти, в тому числі					
Треонін	0	61	523	0	0
Валін	0	1491	556	387	817
Метіонін	0	538	0	0	96
Ізолейцин	0	738	0	597	320
Лейцин	0	1886	348	1000	674
Фенілаланін	0	1248	83	295	2269
Лізин	57	1244	421	614	677
Сума незамінних амінокислот	57	7206	1931	3343	4853
Замінні амінокислоти, в тому числі					
Аспарагінова кислота	156	0	1136	193	104
Серін	0	463	0	813	986
Глутамінова кислота	5361	9756	1996	6976	9285
Пролін	374	3665	4422	241	2186
Гліцин	863	305	0	0	0
Аланін	103	793	231	1113	982
Тирозин	0	0	0	194	0
Гістидин	0	1039	654	652	59
Аргінін	0	0	0	0	673
Сума замінних амінокислот	6857	16021	8439	10182	14275
Співвідношення між НАК і ЗАК	0,008	0,449	0,229	0,328	0,339

Що стосується замінних амінокислот, то їх виявлено дев'ять. Глутамінова кислота та пролін було виявлено у всіх зразках. Гліцин був відсутній у зразках Д2-Д4. В контролі його було більше у 2,8 рази ніж у зразку Д1. Аланін було виявлено тільки у зразку Д4 ферментованому композицією *St. thermophilus.* Найбільшу кількість проліну було виявлено у зразку Д2., кількість якого у 11,8; 1,2; 18,3; 2,0 разів вище ніж у К, Д1, Д3 та Д4 відповідно.

Дані отримані нами узгоджуються з даними опублікованими в [21, 22] в яких зазначено, що кількість вільних амінокислот в молоці незначна - від 0,5 до 2 мг % та виявили в ньому аргінін, гістідін, лізин, лейцін, валін, гліцин, аспарагіновую кислоту та ін.

Біологічна цінність продуктів харчування характеризуються амінокислотним скором. Скор – це відсоткова місткість кожної з амінокислот продукту по відношенню до їх вмісту в ідеальному білку. Для вираження біологічної цінності продуктів використовують метод, що заснований на порівнянні амінокислотного складу заданого продукту з «ідеальним» білком по амінокислотній шкалі, що рекомендовано комітетом ФАО/ВОЗ. Для розрахунку амінокислотного скору визначають масову долю кожної незамінної амінокислоти в конкретному продукті і порівнюють її з відповідною амінокислотою в «ідеальному» білку.

Найбільш цінні для людини – сірковмісні амінокислоти: метіонін, що приймає участь в кровотворенні, а також утворенні холіну і фосфоліпідів; триптофан в синтезі тканин; лізин – в кровотворенні і процесах обміну речовин в організмі.

Характеристику біологічної цінності білків сквашеного молока різними штамами *St. thermophilus* отримували, розрахувавши значення амінокислотного скора, що показує вміст амінокислот в даних продуктах в порівнянні з вмістом їх в повноцінному білку, прийнятому за стандарт відповідно до шкали ФАО / ВООЗ (табл. 3). Отримані дані свідчать про біологічну повноцінність білку таких продуктів, так як вони містять практично всі незамінні амінокислоти (визначення триптофану не проводилося).

Таблиця 3. Амінокислотний скор білкумолочних продуктів (порівняно зі шкалою ФАО/ВООЗ), г/100 г білку.

Table 3. Amino acid score of dairy protein (compared to the scale FAO/WHO), g / 100 g of protein.

Незамінні амінокислоти	Еталон ФАО/ВОЗ	Скор,%				
		К	*Д1*	*Д2*	*Д3*	*Д4*
Треонін	40,0	0	152,5	1307,5	0	0
Валін	50,0	0	2982	1112	1674	1634
Метіонін	35,0	0	1537,1	0	0	274,3
Ізолейцин	40,0	0	1845	0	1492,5	800
Лейцин	70,0	0	2694,3	419,3	1428,57	962,9
Фенілаланін	60,0	0	2080	138,3	491,7	3781,7
Лізин	55,0	103,6	2261,8	765,4	1116,4	1230,9

Еталоном білкового продукту вважаємо ідеалізовану модель білкового продукту, запропоновану FAO/WHO. Біологічна цінність білкових композицій залежить від умісту в них незамінних амінокислот (НАК) і співвідношення їх у молочному продукті й ідеалізованому білку.

Так самоквасне молоко не містить в собі спектр незамінних амінокислот. Тільки лізин має більшу кількість в порівнянні зі шкалою ФАО/ВОЗ. Всі штами, якими було ферментоване молоко, мали гарні показники в порівнянні з самоквасним молоком. Найвищим скором вирізнявся штам *St. thermophilus* 2176 і становив 13552,7, що в 130 разів більше, ніж у самоквасному молоці. Найнижчим був штам *St. thermophilus* 2120 і становив 3742,5.

Проведений розрахунок амінокислотного скору термофільних стрептококів та їх комбінації, показав, що білок в цих варіантах є повноцінним та за вмістом незамінних амінокислот згідно зі шкалою ФАО/ВОЗ перевищує ідеальний білок майже за всіма амінокислотами на 52…2882%. А сумарна кількість амінокислот фенілаланін+тирозин значно перевищують їх вміст.

Наведені в таблицях 2 та 3 дані, свідчать про біологічну повноцінність білків молочних продуктів сквашених дослідженими штамами. Отримані дані дають можливість рекомендувати їх залучати до складу заквашувального препарату.

Перспективним направленням підвищення дієтичних властивостей кисломолочних продуктів є використання спеціально підібраних і виділених в результаті селекції культур біфідобактерій, пропіоновокислих бактерій та інших мікроорганізмів, що надають продуктам функціональних властивостей.

Проведено дослідження із залученням біфідобактерій та пропіоновокислих бактерій. Для ферментації були обрані чисті культури *B. bifidum 4101, B. longum 4201, B. adolescentis 4400, P. freudenreichiiH-110*. Ці культури було обрано з музею відділу біотехнології інституту продовольчих ресурсів, як культури – пробіотики. Було проаналізовано як впливають пробіотичні культури на характеристику готового продукту за амінокислотним та жирнокислотним складом (табл. 4).

Таблиця 4. Амінокислотний скор білків у дослідних зразках молочних продуктів.
Table 4. Amino acid rate of proteins in experimental samples of dairy products.

Незамінні амінокислоти	Еталон ФАО/ВОЗ	Скор,%					
		Д4	*Д5*	*Д6*	*Д7*	*Д8*	*Д9*
Треонін	40,0	0	301,75	339,25	403,25	0	2495
Валін	50,0	1634	0	0	0	1482,0	466
Метіонін	35,0	274,3	0	0	0	0	0
Ізолейцин	40,0	800	0	0	0	170	0
Лейцин	70,0	962,9	0	0	0	441,43	425,71
Фенілала-нін+тирозин	60,0	3781,7	481,66	620,0	9838,0	8830,0	6071,66
Лізин	55,0	1230,9	1247,27	187,45	1687,27	703,63	1394,54

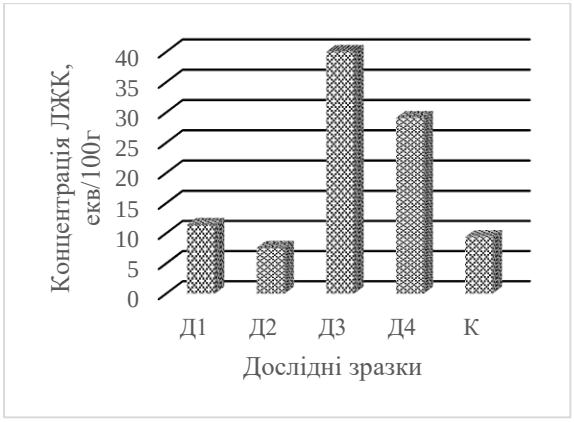
Як видно з отриманих даних найбільшою кількістю вирізнялися амінокислоти - лізин, лейцин, фенілаланін та треонін. Як в окремих штамах так і в композиції кількість зросла в рази. Відомо, що особливе значення має лізин. Ця амінокислота необхідна для нормального формування кісток, сприяє засвоєнню кальцію і підтримці нормального обміну азоту у дорослих людей. Також збільшився вміст треоніну та фенілаланіну. Ці амінокислоти позитивно впливають на настрій, зменшують біль, покращують пам’ять. Ще відомо, що лізин та треонін є суворо незамінними, вони чутливі до катаболізму і важливі для синтезу білку. А концентрація фенілаланіну була вищою у складі композиції для кисломолочного продукту в порівнянні з одноштамовими зразками (Д5-Д8) та композицією Д4.

За сумою незамінних амінокислот білок молока ферментованого *Д4* практично не відрізняється від білка молока ферментованого Д9 а за вмістом окремих амінокислот навіть перевершує його. Наприклад, за кількістю лізину і треоніну - на 4,7 і 5,3%. Кількість інших незамінних амінокислот однакове або незначно менше.

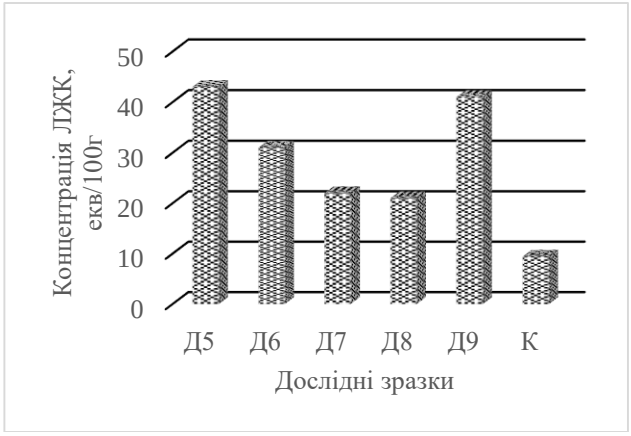
Збагачення кисломолочного продукту біфідо- та пропіоновокислими бактеріями призвело до збільшення незамінних амінокислот у сумарному вигляді на 80%. Але, якщо говорити по окремим амінокислотам, то найвищим показником є сума двох амінокислот- фенілаланін+тирозин. Кількість її зросла на 60%. А такі амінокислоти, як метіонин та ізолейцин взагалі були відсутні в кисломолочному продукті Д9 Це не суттєво вплинуло на органолептичні показники. А ось треонін, збільшився і мав високий показник. Відомо, що треонін сприяє підтримці нормального білкового балансу в організмі людини, впливає на процеси росту, приймає участь в творенні антитіл, підвищує імунітет організму.

Наступним етапом досліджень було визначення летких жирних кислот (ЛЖК).

Слід зазначити, що жирно кислотний склад продукту є одним із важливих компонентів у харчовій цінності. Наявність летких жирних кислот відповідає за смак та аромат продукту. Результати досліджень жирнокислого складу штамів наведені на рисунках 1а та 1б.



а



б

Рис. 1. Концентрація летких жирних кислот у дослідних зразках Д1-Д9 (дивись таблицю1) та К – контроль

Fig. 1. Concentration of volatile fatty acids in test samples D1-D9 (see table 1) and K – control.

За результатами експериментальних даних видно, що окремі штами мікроорганізмів мають різну концентрацію ЛЖК.

Як видно з рисунку, найбільшу концентрацією ЛЖК виявили у зразка Д3 і дорівнювала 37,75 мекв/100г продукту та у комбінації термофільних стрептококів Д4, що дорівнювала 30,33 мекв/100г продукту.

Серед *Bifidobacterium* найбільший показник ЛЖК був у Д5 і кількість становила 43,75 мекв/100г продукту, а найнижчий був у Д7 – 22,42 мекв/100г продукту. Найціннішим складом ЖК характеризувалась комбінація штамів. В даному зразку кількість жирних кислот була на рівні 41,77 мекв/100г продукту. Цей показник був найкращим серед всіх досліджуваних штамів та комбінацій, не рахуючи зразок Д5. Тому, комбінацію з штамів - *Д9,* обрано для наступних досліджень.

Розпад білків і амінокислот під впливом ферментів молочнокислих, пропіоновокислих бактерій та біфідобактерій має позитивне значення – молочні продукти збагачуються розчинними в воді азотистими і безазотистими сполуками, внаслідок чого готовий продукт набуває певної консистенції, характерний смак і запах, а також легко перетравлюється в шлунково-кишковому тракті людини.

Висновки

1. Формування мікробіоти заквашувальної культур для молочних продуктів за рахунок залучення мікроорганізмів різних таксономічних груп (а саме біфідо- та пропіоновокислих бактерій) є доцільним, оскільки сприяє поліпшенню амінокислотного складу нових продуктів і, зокрема, підвищенню їх біологічної цінності.

2. Показано що максимальним вмістом ессенціальних амінокислот характеризується зразок Д9. Спостерігається посилення продукування замінних амінокислот, зокрема, глутамінової кислоти та пролін. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосування досліджених штамів істотно змінює органолептичні властивості продукції за рахунок утворених летких жирних кислот.

Список літератури

1. *Heo J., Lee K., Garduno-Ramirez R.* Multiobjective Control of Power Plants Using Particle Swarm Optimization Techniques. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2006. Vol. 21. Issue 2. P. 552-561. DOI: 10.1109/TEC.2005.858078.

2. *Нечаев А. П., Траубенберг С. Е., Кочеткова А. А., Колпакова В. В., Витол И. С., Кобелева И. Б.* Пищевая химия. Санкт-Петербург: Гиорд, 2003. С. 17-121.

3. *Банникова А. В., Евдокимов И. А.* Молочные продукты, обогащенные сывороточными белками: технологические аспекты создания. Молочная промышленность. 2015. № 1. С. 64-66.

4. *Губський Ю. І.* Біологічна хімія: підручник. Київ-Тернопіль: Укрмедкнига, 2000. 508 с.

5. *Лысиков Ю. А.* Аминокислоты в питании человека. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2012. № 2. С. 88-105.

6. *Kelly G.* Inulin-Type prebiotics: a review (part 2). Alternative Medicine review. 2012. Vol. 14. Issue 1. P. 36-55.

7. *Miremadi F., Shah N. P.* Applications of inulin and probiotics in health and nutrition. International Food Research Journal. 2012. Vol. 19. Issue 4. P. 1337-1350.

8. *Джесперсон Н. Ж. Т.* Протеолитическая активность некоторых молочнокислых бактерий. XVII Международный конгресс по молочному делу. М.: «Пищевая промышленность», 1971. С.209-213.

9. *Thomas T. D., Mills O. E.* Proteolytic enzymes of dairy starter cultures. FEMS Microbiol. Rev. 1987. Vol. 46, Issue 3. P. 245-268.

10. *Gilbert Ch., Blank B., Frot-Coutaz J.* Comparison of cell surface proteinase activities within the *Lactobacillus* genus. J. Dairy Res. 1997. Vol. 64, Issue 3. P. 894-899. DOI: 10.3390/microorganisms3020198.

11. *Slocum S. A., Jasinski E. M., Kilara A.* Processing variables affecting proteolysis in yoghurt during incubation. J. Dairy Sci. 1988. Vol. 71, Issue 3. P. 596-603. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79596-X.

12. *Shihata A., Shah N.P.* Proteolytic profiles of yoghurt and probiotic bacteria. Intern. Dairy J. 2000. Vol. 10. Issue 5-6. P. 401-408. DOI: 10.1016/s0958-6946(00)00072-8.

13. *Durlu-Ozkaya F., Xanthopoulos V., Tunail N., Litopoulou-Tzanetaki E.* Technologically important properties of lactic acid bacteria isolates from Beyaz cheese made from raw ewes milk. Journal of Applied Microbiology. 2001. Vol. 91. Issue 5. P. 861-870. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2001.01448.x.

14. *Dupuis C., Corre C., Boyaval P.* Proteinase activity of dairy propionibacterium. Appl. Microbiol. Biotechnol. 1990. Vol. 42. Issue 5. P. 750-755. DOI: 10.1007/BF00171957.

15. *Mierau I., Kunji E. R., Venema G., Kok J.* Casein and peptide degradation in lactic acid bacteria. Biotechnol Genet. Eng. Rev. 1997. Vol. 14. Issue 1. P. 279-302. DOI: 10.1080/02648725.1997.10647945.

16. *Ono H., Yamamoto N., Maeno M., et al*. Purification and characterization of cell-wall associated proteinase of *Lactobacillus helveticus* CP53. Milchwissensch. 1997. Vol. 52. Issue 7. P. 373-377.

17. *Christensen J. E., Duddley E. G., Pederson J. A., Steele J. L.* Peptidases and amino acid catabolism in lactic acid bacteria. Antoni van Leeuwenhoek. 1999. Vol. 76. Issue 1-4. P. 217-246. DOI: 10.1023/A:1002001919720.

18. *Vaitheeswaran N. I., Bhat G.* Influence of lactic cultures in denaturation of whey proteins during fermentation of milk. J. Dairy Res. 1988. Vol. 55. Issue 3. P. 443-448. DOI: https://doi.org/10.1017/S002202990002 8697.

19. *Gobbetti M., Stepaniak L., Fox P. F.* Inhybition of endo- and aminopeptidase activities in cytoplasmic fraction of *Lactococcus, Lactobacillus* and *Propionibacterium* by peptides from different cheeses. Milchwissensch. 1995. Vol. 50, Issue 10. P. 565-570.

20. *Инихов Г. С., Брио Н. П.* Методы анализа молока и молочных продуктов. М.: «Пищев. пром.» – 1971. – 275 с.

21. *Шидловская В.П.* Содержание мочевины в заготовляемом молоке. Молочная промышленность. 1982. № 4. С. 26-28.

22. *Malossini F., Bovolenta S., Piras C., Dalla Rosa M., Ventura W.* Effect of diet and breed on milk composition and rennet coagulation pioperties. Ann. Zootechn. 1996. Vol. 45. Issue 1. P. 29-40.

References

1. *Heo J., Lee K., Garduno-Ramirez R.* (2006). Multiobjective Control of Power Plants Using Particle Swarm Optimization Techniques. IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 21. Issue 2. 552-561. DOI: 10.1109/TEC.2005.858078.

2. *Nechaev A. P., Traubenberh S. E., Kochetkova A. A., Kolpakova V. V., Vitol I. S., Kobeleva I. B.* (2003). Food chemistry. Ed. A. P. Nechaiev. Saint-Petersburg: Gyord, 17-121.

3. Bannikova A. V., Evdokimov I. A. (2015). Dairy products enriched with whey proteins: technological aspects of creation. Dairy industry. Issue 1. 64-66.

4. *Hubskyi Yu. I.* (2000). Biological chemistry. Kyiv-Ternopil: Ukrmedknyha, 508.

5. *Lysikov Ju. A.* (2012). Amino acids in human nutrition. Experimental and clinical gastroenterology. Issue 2. 88-105.

6. *Kelly G.* (2012). Inulin-Type prebiotics: a review (part 2). Alternative Medicine review. Vol. 14. 36-55.

7. *Miremadi F., Shah N. P.* (2012). Applications of inulin and probiotics in health and nutrition. International Food Research Journal. Vol. 19. Issue 4. 1337-1350.

8. *Dzhesperson N. Zh. T.* (1971). Proteolytic activity of some lactic acid bacteria. XVII International Dairy Congress. Moscow: Pishhevaja promyshlennost', 209-213.

9. *Thomas T. D., Mills O. E.* (1987). Proteolytic enzymes of dairy starter cultures. FEMS Microbiol. Rev. Vol. 46, Issue 3. 245-268.

10. *Gilbert Ch., Blank B., Frot-Coutaz J.* (1997). Comparison of cell surface proteinase activities within the *Lactobacillus* genus. J. Dairy Res. Vol. 64, Issue 3. 894-899. DOI: 10.3390/microorganisms3020198.

11. *Slocum S. A., Jasinski E. M., Kilara A.* (1988). Processing variables affecting proteolysis in yoghurt during incubation. J. Dairy Sci. Vol. 71, Issue 3, 596-603. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79596-X.

12. *Shihata A., Shah N. P.* (2000). Proteolytic profiles of yoghurt and probiotic bacteria. Intern. Dairy J. Vol. 10. Issue 5-6. 401-408. DOI: 10.1016/s0958-6946 (00) 00072-8.

13. *Durlu-Ozkaya F., Xanthopoulos V., Tunail N., Litopoulou-Tzanetaki E.* (2001). Technologically important properties of lactic acid bacteria isolates from Beyaz cheese made from raw ewes milk. Journal of Applied Microbiology. Vol. 91. Issue 5. 861-870. DOI: 10.1046/j.1365-2672.2001.01448.x.

14. *Dupuis C., Corre C., Boyaval P.* (1990). Proteinase activity of dairy propionibacterium. Appl. Microbiol. Biotechnol. Vol. 42. Issue 5. 750-755. DOI: 10.1007/ BF00171957.

15. *Mierau I., Kunji E.R., Venema G., Kok J.* (1997). Casein and peptide degradation in lactic acid bacteria. Biotechnol Genet. Eng. Rev. Vol. 14. Issue 1. 279-302. DOI: 10.1080/02648725.1997.10647945.

16. *Ono H., Yamamoto N., Maeno M.* (1997). Purification and characterization of cell-wall associated proteinase of *Lactobacillus helveticus* CP53. Milchwissensch. Vol. 52. Issue. 7. 373-377.

17. *Christensen J. E., Duddley E. G., Pederson J. A., Steele J. L.* (1999). Peptidases and amino acid catabolism in lactic acid bacteria. Antoni van Leeuwenhoek. Vol. 76. Issue 1-4. 217-246. DOI: 10.1023/A:1002001919720.

18. *Vaitheeswaran N. I., Bhat G.* (1988). Influence of lactic cultures in denaturation of whey proteins during fermentation of milk. J. Dairy Res. Vol. 55. Issue 3. 443-448. DOI: https://doi.org/10.1017/S0022029900028697.

19. *Gobbetti M., Stepaniak L., Fox P. F.* (1995). Inhybition of endo- and aminopeptidase activities in cytoplasmic fraction of *Lactococcus, Lactobacillus* and *Propionibacterium* by peptides from different cheeses. Milchwissensch. Vol. 50, Issue 10. 565-570.

20. *Inihov G. S., Brio N. P.* (1971). Methods of milk and dairy products analysis. Moscow: Pishhevaja promyshlennost', 275.

21. *Shidlovskaja V. P.* (1982). Urea content in harvested milk. Dairy industry. Issue 4. 26-28.

22. *Malossini F., Bovolenta S., Piras C., Dalla Rosa M., Ventura W.* (1996). Effect of diet and breed on

milk composition and rennet coagulation pioperties. Ann. Zootechn. Vol. 45. Issue 1. 29-40.

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ МИКРООРГАНИЗМАМИ РАЗЛИЧНЫХ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ГРУПП

Л. В. Баль-Прилипко, С. Г. Даниленко, О. И. Потемская, О. В. Науменко, Т. А. Крыжская

Аннотация. В статье представлен метод решения проблемы повышения биологической ценности молочных продуктов за счет привлечения к заквашувальних микробиоты культур бифидо- и пропионовокислых бактерий и рассчитан аминокислотный скор полученных продуктов.

Цель исследования влияния микроорганизмов различных таксономических групп на формирование аминокислотного состава готовых кисломолочных напитков.

Методика реализации. Определение аминокислотного состава молочных продуктов проводили на аминокислотному анализаторе «Biotronik LC-2000».

Объектами исследования было ферментированное молоко бактериями различных таксономических групп из коллекции отдела биотехнологии Института продовольственных ресурсов НААН.

Определены образцы, белок которых наиболее сбалансированный по аминокислотному составу. Изменения в аминокислотному составу молочных продуктов обусловлены в основном колебаниями заменимых аминокислот. Соотношение незаменимых и заменимых аминокислот может быть показателем полноценности белков молочных продуктов в зависимости от штамма микроорганизмов. Обогащение молочного продукта бифидо- и пропионовокислых бактериями привело к увеличению незаменимых аминокислот в суммарном виде на 80%.

Сделан вывод, что состав заквашувальних препарата для молочных продуктов существенно влияет на биологическую ценность готового продукта. Поэтому следует расширять ассортимент заквасочных препаратов за счет привлечения микрооргвнизмив разных таксономических групп.

Ключевые слова: аминокислота, биологическая ценность, молочные продукты, микроорганизмы, жирные кислоты.

AMINO ACID COMPOSITION OF DAIRY PRODUCTS FERMENTED BY MICROORGANISMS OF DIFFERENT TAXONOMIC GROUPS

L. V. Bal-Prylypko, S. G. Danylenko, O. I. Potemskaia, O. V. Naumenko, T. A. Kryzhska

Abstract. The article presents a method for solving the problem of increasing the biological value of dairy products by involving cultures of bifido- and propionic acid bacteria in the fermentation microbiota and calculates the amino acid score of the obtained products.

Goal study of the effect of microorganisms of different taxonomic groups on the formation of the amino acid composition of ready fermented milk drinks.

Methodology of implementation. Determination of the amino acid composition of dairy products was performed on an amino acid analyzer "Biotronik LC-2000".

The object of the study was milk fermented by bacteria of different taxonomic groups from the collection of the Department of Biotechnology of the Institute of Food Resources of National Academy of Agrarian Sciences.

Results. Samples their protein being the most balanced in amino acid composition were identified. Changes in the amino acid composition of dairy products are mainly due to fluctuations in essential amino acids. The ratio of essential and nonessential amino acids can be an indicator of the completeness of dairy proteins depending on the strain of microorganisms. Enrichment of the dairy product with bifido- and propionic acid bacteria led to an increase in essential amino acids in total by 80%.

It is concluded that the composition of the fermentation preparation for dairy products significantly affects the biological value of the finished product. Therefore, it is necessary to expand the range of fermentation drugs by involving microorganisms of different taxonomic groups.

Key words: amino acid, biological value, dairy products, microorganisms, fatty acids.

Л. В. Баль-Прилипко ORCID 0000-0002-9489-8610.
С. Г. Даниленко ORCID 0000-0003-4470-4643.
О. І. Потемская ORCID 0000-0003-4725-5847.
О. В. Науменко ORCID 0000-0003-4470-4643.
Т. А. Крижска ORCID 0000-0002-0339-5189.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 187-196*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2020.02.187-196

УДК 631.1.004

УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІНДЕКСУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МАШИНИ ПРИ ВТРАТІ ЇЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: rogovskii@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – січень 2020, акцептовано – квітень 2020.
Бібл. 15, рис. 13, табл. 1.

Анотація. В статті проведено аналіз підтримання існуючих сільськогосподарських машин в працездатному стані, за яким слід відпрацювати систему технічного обслуговування з урахуванням умов реформування аграрного сектора. Під технічним обслуговуванням розуміється комплекс робіт по підтриманню роботоздатності або справності виробів при використанні за призначенням шляхом регулювальних, знаючих, заправних і кріпильних робіт. Для оцінки альтернативних варіантів доцільно проводити морфологічний аналіз всієї сукупності можливих рішень досліджуваної проблеми, поданих у вигляді морфологічної матриці, в якій подані основні функції машини і варіанти предметних форм їх виконання.

Теоретичними дослідженнями надали відповідь на два головні питання – як має змінюватися система технічного обслуговування залежно від рівня розвитку аграрного виробництва, а також – які параметри повинна мати система обслуговуючого сервісу, щоб виконувати відповідні втручання з мінімальними технологічно потрібними витратами ресурсів та капіталовкладеннями. Оцінку рівня технічного обслуговування сільськогосподарських машин передбачено виконувати за сукупністю організаційно-технічних факторів, формалізованих через частині і комплексні показники, в два етапи. Перший – оцінка через частині показники по кожному фактору окремо. Другий – оцінка комплексного показника (за всіма факторами в цілому).

Ключові слова: методологія, коефіцієнт готовності, ефективність, сільськогосподарська машина.

Постановка проблеми

Однією з передумов забезпечення працездатності і екологічності сільськогосподарських машин в умовах існуючих обмежень фінансових ресурсів і низьких показників безвідмовності цих машин є пошук раціональних рішень з ефективності технічної експлуатації, які б дозволили виконати необхідні об’єми робіт з технічного обслуговування за мінімальних затратах фінансових і трудових ресурсів [1-4].

Проблема підвищення надійності [5] й ефективного використання сільськогосподарських машин перебуває в тісному зв'язку із проблемою організації й технологією здійснення всіх процесів передбачених системою технічного обслуговування в аграрному виробництві [6, 7]. Раціональна організація експлуатації машин неможлива при відсутності необхідних відомостей про періодичність і технології виконання профілактичних робіт. У цьому зв'язку створення методики обґрунтування періодичності технічного обслуговування є актуальним науково-практичним завданням [8-10].

Вивчення факторів, що виявляють вплив на тривалість роботи даного вузла до моменту, коли доцільно проводити профілактичні роботи показує, що в цьому питанні існує своєрідний принцип невизначеності: чим повніше й точніше враховуються зазначені фактори, тим менш є достовірним отриманий результат. Більш достовірної виявляється періодичність ТО, установлена з урахуванням вимог, сформульована з більш загальних позицій. Наприклад, установлення періодичності здійснення операцій технічного обслуговування з урахуванням вимог раціональної організації використання машин в умовах, що склалися аграрних підприємствах. У зв'язку із цим у дослідженні розпочата спроба врахувати весь основний комплекс факторів, що визначають періодичність технічного обслуговування за даною машиною [11].

Згідно національних стандартів щодо сільськогосподарських машин передбачено проведення певних видів технічного обслуговування, які класифікуються за етапом існування машини і характеризуються чітко регламентованою періодичністю проведення [12]. Однак ці величини періодичності сформовані згідно планово-попереджувальної системи для виробничих умов [6]. Сьогодення потребує нових рішень щодо наукового обґрунтування величин періодичності проведення технічного обслуговування сільськогосподарських

машин і на думку автора вихідним етапом повинна стати формалізація впливу показників надійності.

Аналіз останніх досліджень

Сільськогосподарська машина володіє нескінченним набором властивостей різної природи [13]. Але в процесі дослідження взаємодії людини з сільськогосподарською машиною здійснюється обмеження множини властивостей, які знаходяться в межах можливості їх сприйняття і необхідності для мети досліджень [14]. Отже, в рамках задач управління технічним станом сільськогосподарської машини необхідно розглядати скінченну множину відібраних для спостережень властивостей цієї машини. За чим у кожної сільськогосподарської машини ця множина властивостей буде індивідуальною [15]. Таким чином в рамках задач відновлення працездатності технічного стану сільськогосподарської машини характеризується за допомогою деякого визначеного скінченної множини значень параметрів:

$$S = \{s_1;\ s_2;\ s_3; \dots;\ s_n\}, \quad (1)$$

де S – індекс технічного стану сільськогосподарської машини; s_n – значення параметру технічного стану сільськогосподарської машини; n – кількість параметрів технічного стану сільськогосподарської машини.

Мета досліджень

Мета досліджень – описати особливості аналітичних підходів до узагальнення математичної моделі індексу технічного стану сільськогосподарської машини при втраті її працездатності.

Результати досліджень

Так як для кожної сільськогосподарської машини множина параметрів індивідуальна, і кожен параметр має свою область значень і одиницю вимірювання, то виникає актуальна задача із систематизації різнорідних даних в задачі відновлення працездатності із застосуванням теорії нечітких множин. При цьому критерії виконання необхідних функцій можуть бути встановлені заданням для кожної функції набору параметрів, які характеризуються здатністю її виконання, і допустимих меж зміни значень цих параметрів (рис. 1). Тобто відновлення працездатності сільськогосподарських машин можна визначити як властивість машини зберігати в часі у визначених межах значення всіх параметрів, які характеризують її спроможність виконувати задані функції.

Під час введення сільськогосподарської машини в експлуатацію значення його параметра s_i рівне номінальному значенню $s_i^{\text{ном. вим.}}$ (рис. 1). Під час експлуатації сільськогосподарської машини значення параметра s_i динамічно змінилось в часі t і знаходиться в визначених межах значень $s_i^{max.\ \text{вим.}} - s_i^{min.\ \text{вим.}}$ (рис. 1). В момент часу t_1 (рис. 1) значення параметра s_i вийшло за допустимі межі – момент переходу сільськогосподарської машини з справного стану в несправний стан. Якщо параметр s_i характеризує здатність сільськогосподарської машини виконувати задані функції, то t_1 – момент переходу працездатності в непрацездатність. Таким чином, сільськогосподарська машина містить певну скінченну множину параметрів або індекс технічного стану сільськогосподарської машини S, значення якого характеризує стан машини:

$$S = \{s_i,\ i = \overline{1,n}\}. \quad (2)$$

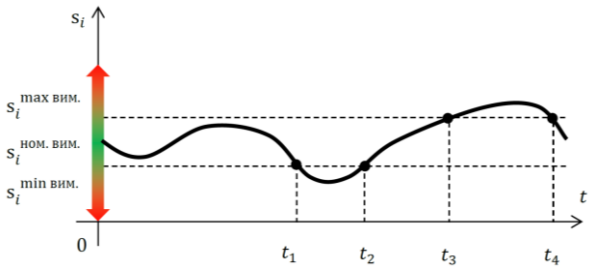


Рис. 1. Графічне пояснення властивості сільськогосподарської машини зберігати в часі у визначених межах значення параметру технічного стану.

Fig. 1. Graphic explanation of the properties of the agricultural machine to keep in time within certain limits the value of the parameter of technical condition.

Індекс технічного стану сільськогосподарської машини S (2) містить певну підмножину параметрів, які характеризують здатність машини виконувати задані функції. Параметр s_i може приймати значення в множині всіх можливих значень se_i, яке містить підмножину заданих значень sa_i:

$$sa_i \subset se_i. \quad (3)$$

Якщо позначити технічних стан сільськогосподарської машини як SI, то можемо записати:

$$SI = \begin{cases} \text{справний стан, якщо } \forall s_i: s_i \in sa_i\ , \\ \text{несправний стан, якщо } \exists s_i: s_i \notin sa_i. \end{cases} \quad (4)$$

Зважаючи, що видами технічного стану сільськогосподарської машини є справний і несправний стани, працездатність і непрацездатність та граничний стан (рис. 2), то межі самого технічного стану стають дещо розмитими, особливо це відноситься меж між працездатністю, непрацездатністю та граничним станом.

Рис. 2. Інтерпретація графічного представлення технічного стану сільськогосподарської машини.

Fig. 2. Interpretation of the graphical representation of the technical condition of the agricultural machine.

Якщо кількісна оцінка технічного стану сільськогосподарської машини є безрозмірною числова величина індексу технічного стану, яка характеризує стан машини з точки зору відповідності його параметрів нормативним значенням. Згідно загальному алгоритму процесу оцінки, необхідно виміряти поточне значення і порівняти його з нормативом. В ракурсі оцінки технічного стану сільськогосподарської машини даний алгоритм проектується на параметри машини. Для технічно завершених технічних систем, такими встановленими значеннями на практиці є значення, які відрізняються від норм заводів-виробників сільськогосподарських машин, що пояснюється конкретним використанням даної машини в загальній агропромисловій системі виробництва сільськогосподарських культур. В ракурсі описаного підходу отримуємо деяку генеральну сукупність – множину значень, які описують експеримент за процесом оцінки технічного стану сільськогосподарських машин. Таким чином, довільний технічний стан сільськогосподарської машини може бути виражений за допомогою скінченої множини значень індексу технічного стану машини.

Припустимо, що технічний стан сільськогосподарської машини характеризується одним параметром s, тоді в ракурсі теорії множин можемо записати:

$$s \in M, \tag{5}$$

де M – множина значень даного параметра технічного стану сільськогосподарської машини.

Якщо, наприклад, параметр s може приймати довільне невід'ємне значення, тоді:

$$M \in R^{+}, \tag{6}$$

де R^{+} – множина невід'ємних дійсних чисел і відповідно:

$$s \in R^{+}. \tag{7}$$

Якщо M – множина всіх можливих значень параметра, тоді вона має містити деяку підмножину допустимих значень підмножини SL, тоді:

$$SL \subset M. \tag{8}$$

Якщо параметр s множини M і є елемент підмножини SL, тобто значення параметр s знаходиться в допустимому діапазоні значень, тобто:

$$s \in SL, \tag{9}$$

Для виразу цієї приналежності в теорії множин застосовують характеристичну функцію $\vartheta_{LS}(s)$ в бінарному характері її виді (рис. 3), значення якої вказують, і є (так або ні) s елементом підмножини SL:

$$\vartheta_{LS}(s) = \begin{cases} 1, \text{якщо } s \in SL, \\ 0, \text{якщо } s \notin SL. \end{cases} \tag{10}$$

На практиці межа між допустимими і недопустимими значеннями параметра може не мати чіткого характеру, тому рішення задачі оцінка технічного стану сільськогосподарської машини раціонально розглянути в ракурсі теорії нечітких множин. Тобто параметр s_i множини M може належати SL у визначеній мірі ϑ_{LS}. Тоді, у відповідності з визначенням нечіткої множини, нечітка підмножина допустимих значень $\widetilde{SL}$ множини всіх можливих значень параметра множини M визначається як множина упорядкованих пар:

$$\{(s, \vartheta_{\widetilde{LS}}(s))\}, \forall s \in M, \tag{11}$$

де $\vartheta_{\widetilde{LS}}(s)$ – характеристична функція приналежності, яка приймає свої значення в множині $H = \{0; 1\}$ в нечіткій підмножині $\widetilde{H}$.

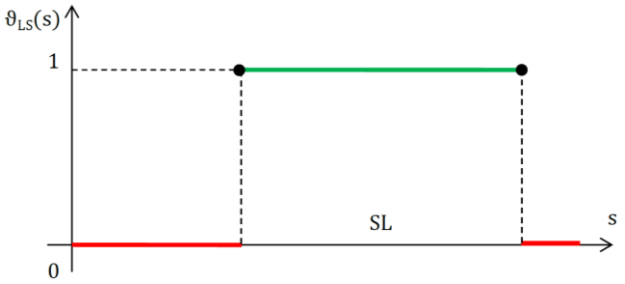


Рис. 3. Інтерпретація графічного представлення характеристичної функції $\vartheta_I(s)$ технічного стану сільськогосподарської машини.

Fig. 3. Interpretation of the graphical representation of the characteristic function $\vartheta_I(s)$ of the technical condition of the agricultural machine.

З врахуванням того, що сільськогосподарська машина має не один s, а кілька параметрів s_i, за яким вона і оцінюється, тоді необхідно відмітити наступне. Кожен параметр s_i унікальний, тобто він має свою множину всіх можливих значень, підмножину нормативних значень, а також розмірність. Тоді модель опису технічного стану сільськогосподарської машини підмножини SL буде мати наступний вид:

$$\widetilde{SL} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline s_1 & s_2 & \dots s_i & s_n \\ \hline \vartheta_{\widetilde{SL}_1}(s_1) & \vartheta_{\widetilde{SL}_2}(s_2) & \dots \ \vartheta_{\widetilde{SL}_i}(s_i) & \vartheta_{\widetilde{SL}_n}(s_n) \\ \hline \end{array} \tag{12}$$

Однак (12) потребує на практиці застосування не однієї функції приналежності при опису технічного стану сільськогосподарської машини, а деяких (для кожного параметра свій), тобто кожен параметр може мати рівні одиниці вимірювання або взагалі бути безрозмірною величиною, різні допустимі для умов експлуатації значення, діапазон можливих значень, але кожен з цих параметрів характеризує стан сільськогосподарської машини і має бути врахований. Таким чином, якщо в моделі (12) будуть проставлені у відповідності всі поточні значення параметрів $s_i^{\text{пот}}$, тоді множина $\widetilde{SL}$ буде характеризувати поточний технічний стан сільськогосподарської машини $\widetilde{SL}^{\text{пот}}$:

$$\widetilde{SL}^{\text{пот}} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline s_1 & s_2 & \dots s_i & s_n \\ \hline \vartheta_{\widetilde{SL}_1}(s_1^{\text{пот}}) & \vartheta_{\widetilde{SL}_2}(s_2^{\text{пот}}) & \dots \ \vartheta_{\widetilde{SL}_i}(s_i^{\text{пот}}) & \vartheta_{\widetilde{SL}_n}(s_n^{\text{пот}}) \\ \hline \end{array} \tag{13}$$

Якщо технічний стан сільськогосподарської машини справний за всіма параметрами, то її стан $\overline{SL}^{\text{ном}}$ можна описати наступним видом:

$$\widetilde{SL} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline s_1 & s_2 & \dots s_i & s_n \\ \hline 1 & 1 & \dots 1 & 1 \\ \hline \end{array} = \overline{SL}^{\text{ном}} \tag{14}$$

Для визначення узагальненого технічного стану сільськогосподарської машини використовуємо дві оцінки – відносну лінійну відстань Хеммінга і відносну квадратичну Евклідову відстань між множинами $\widetilde{SL}^{\text{пот}}$ і $\overline{SL}^{\text{ном}}$, за якими встановлюємо дві оцінки відстані між нечіткими множинами.

Відносна лінійна відстань Хеммінга $\delta\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}}, \overline{SL}^{\text{ном}}\right)$ між множинами $\widetilde{SL}^{\text{пот}}$ і $\overline{SL}^{\text{ном}}$ визначається за виразом:

$$\delta\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\vartheta_{\overline{SL}^{\text{ном}}}(s_i)-\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)\right|=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(1-\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)\right). \quad (15)$$

або після перетворень

$$\delta\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(1-\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)\right)=\frac{1}{n}\left(n-\sum_{i=1}^{n}\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)\right). \quad (16)$$

Очевидно, що $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(1-\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)\right)$ – середнє арифметичне $\vartheta^{\text{с.а.}}_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)$ всіх значень $\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)$ тоді:

$$\delta\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)=1-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)=1-\vartheta^{\text{с.а.}}_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i). \quad (17)$$

Відносна квадратична Евклідова відстань між множинами $\widetilde{SL}^{\text{пот}}$ і $\overline{SL}^{\text{ном}}$ визначається за виразом:

$$\varepsilon\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\vartheta_{\overline{SL}^{\text{ном}}}(s_i)-\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)\right)^2}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(1-\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i)\right)^2}. \quad (18)$$

Обидва вирази (17) і (18) задовольняють умовам:

$$0\le\delta\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)\le 1, \quad (19)$$

$$0\le\varepsilon\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)\le 1. \quad (2.20)$$

Таким чином, за допомогою $\delta\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)$ і $\varepsilon\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)$ можемо не тільки оцінити загальний стан сільськогосподарської машини, але й порівняти сільськогосподарські машини між собою. Очевидно, що чим менші ці відстані $\delta\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)$ і $\varepsilon\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)$ тим технічний стан сільськогосподарської машини ближче до справного стану S_{LS}:

$$S_{LS}=1-\delta\left(\widetilde{SL}^{\text{пот}},\overline{SL}^{\text{ном}}\right)=\vartheta^{\text{с.а.}}_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i), \quad (19)$$

Розглянемо фактичні дані зазору між ножем і протирізальним брусом жниварки зернозбирального комбайна.

$\widetilde{SL}_1^{\text{пот}}=$	s_1	s_2	s_3	s_4
	0,5	0,5	0,5	0,5

і

$\widetilde{SL}_2^{\text{пот}}=$	s_1	s_2	s_3	s_4
	0,1	0,5	0,5	0,9

Тоді $\delta\left(\widetilde{SL}_1^{\text{пот}},\overline{SL}_1^{\text{ном}}\right)=0{,}5$, а $\delta\left(\widetilde{SL}_2^{\text{пот}},\overline{SL}_2^{\text{ном}}\right)=0{,}5$.

Тобто оцінка по лінійним відстаням не відтворює різниці в технічному стані окремих ножів. Але, за положеннями теорії надійності, технічний стан другого ножа гірший, так як існує параметр $s_1=0{,}1$, тобто ймовірність виникнення відмови в даному випадку найвища. При цьому Тоді $\varepsilon\left(\widetilde{SL}_1^{\text{пот}},\overline{SL}_1^{\text{ном}}\right)=0{,}5$, а $\varepsilon\left(\widetilde{SL}_2^{\text{пот}},\overline{SL}_2^{\text{ном}}\right)\approx 0{,}6$.

Даний приклад демонструє доцільну властивість відносної квадратичної Евклідової відстані, яку зручно використовувати в якості додаткової оцінки технічного стану сільськогосподарської машини. Але на практиці відносна лінійна відстань Хеммінга все ж таки є більш зручною в застосуванні через свою простоту і підвищеною продуктивністю при значних об'ємах даних.

Розглянемо фактичні дані технічного стану блоку живлення електромагнітного перепускного клапана паливного насоса високого тиску кормозбирального комбайна: термін експлуатації, 8 років; вихідна напруга, 11,5В, пульсація вихідної напруги 400 мВ. Таким чином, за виразом (1) маємо:

$$S=\{8\text{ років};\ 11{,}5\text{ В};400\text{ мВ}\}, \quad (21)$$

Подібний опис (21) технічного стану блоку не дозволяє дати інтегральну оцінку, а також порівняти блоки між собою. Тому формуємо табличні данні (табл. 1) допустимими значеннями параметрів з документації на блок.

Таблиця 1. Допустимі вихідні параметри.
Table 1. Valid initial parameters.

Назва параметру, розмірність	Поточне значення	Допустиме значення	
		мінімальне	максимальне
Термін експлуатації, років	8	0	1S0
Вихідна напруга, В	11,5	11,0	12,0
Пульсація вихідної напруги, мВ	400	0	1000

Для побудови нечіткої моделі втрати працездатності блоку необхідно кожному параметру (табл. 1) поставити у відповідності визначену функцію приналежності (рис. 4, рис. 5, рис. 6).

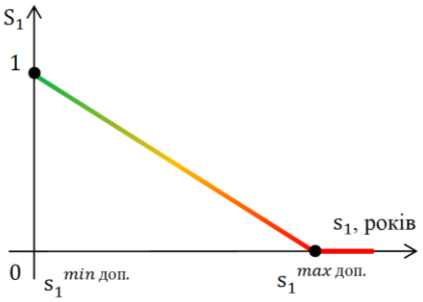


Рис. 4. Функція приналежності для параметра «Термін експлуатації» s_1.
Fig. 4. Accessory function for the "Service life" parameter s_1.

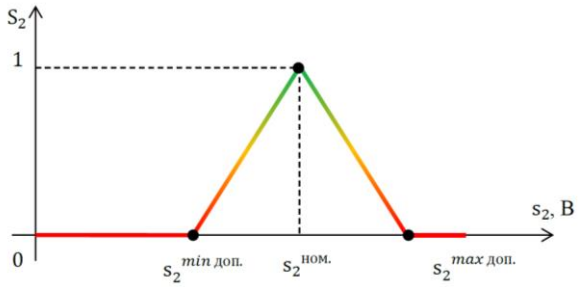


Рис. 5. Функція приналежності для параметра «Вихідна напруга» s_2.
Fig. 5. Accessory function for the "Output voltage" parameter s_2.

Знаючи функцію приналежності $S_1(s_1)$ і поточне значення параметра $s_1=6$ років, визначимо S_1 (рис. 4) за виразом:

$$S_1=\begin{cases}0\text{ при }s_1>s_1^{\max\text{ доп.}}\\ -\frac{s_1}{s_1^{\max\text{ доп.}}}+1\text{ при }0\le s_1\le s_1^{\max\text{ доп.}}\end{cases}=0{,}40 \quad (22)$$

Знаючи функцію приналежності $S_2(s_2)$ і поточне значення параметра $s_2 = 11{,}5$ В, визначимо S_2 (рис. 5) за виразом:

$$S_2 = \begin{cases} 0 \text{ при } s_2^{\min\text{ доп.}} \geq s_2 \text{ або } s_2 \geq s_2^{\max\text{ доп.}} \\ \frac{2\cdot\left(s_2 - s_2^{\min\text{ доп.}}\right)}{s_2^{\max\text{ доп.}} - s_2^{\min\text{ доп.}}} \text{ при } s_2 \leq \frac{s_2^{\max\text{ доп.}} + s_2^{\min\text{ доп.}}}{2} \\ \frac{2\cdot\left(-s_2 + s_2^{\max\text{ доп.}}\right)}{s_2^{\max\text{ доп.}} - s_2^{\min\text{ доп.}}} \text{ при } s_2 > \frac{s_2^{\max\text{ доп.}} + s_2^{\min\text{ доп.}}}{2} \end{cases} = 1{,}00 \quad (23)$$

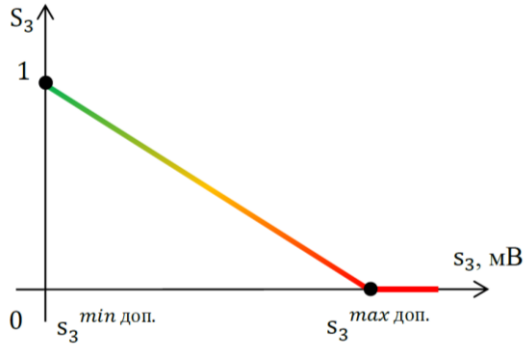


Рис. 6. Функція приналежності для параметра «Пульсація вихідної напруги» s_3.

Fig. 6. Accessory function for the "Output voltage ripple" parameter s_3.

Відсутність диктату застосування якого-небудь визначеного виду функції приналежності має свою альтернативність (рис. 7), коли весь діапазон від $s_2^{\min\text{ доп.}}$ до $s_2^{\max\text{ доп.}}$ рівне одиниці, однак ця функція приналежності доповнюється двома точками мінімальним критичним значенням $s_2^{\min\text{ крит.}}$ і максимальним критичним значенням $s_2^{\max\text{ крит.}}$. Дані значення в більшості випадків будуть носити експертний характер, так як ці значення можуть бути відсутні в нормативах на блок.

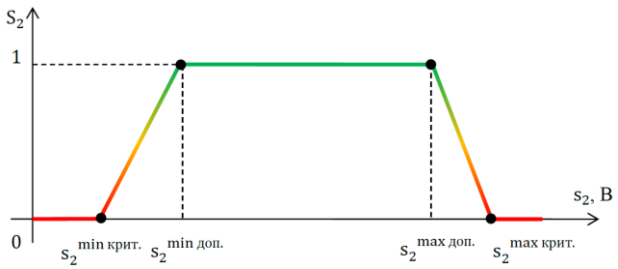


Рис. 7. Альтернативна функція приналежності для параметра «Вихідна напруга» s_2.

Fig. 7. Alternative accessory function for the parameter "Output voltage" s_2.

Знаючи функцію приналежності $S_3(s_3)$ і поточне значення параметра $s_3 == 400$ мВ, визначимо S_3 (рис. 6) за виразом:

$$S_3 = \begin{cases} 0 \text{ при } s_3 > s_3^{\max\text{ доп.}} \\ -\frac{s_3}{s_3^{\max\text{ доп.}}} + 1 \text{ при } 0 \leq s_3 \leq s_3^{\max\text{ доп.}} \end{cases} = 0{,}60 \quad (24)$$

Таким чином, технічний стан блоку живлення електромагнітного перепускного клапана паливного насоса високого тиску кормозбирального комбайна можемо описати за допомогою множини індексів:

$$S = \{0{,}40;\ 1{,}00;\ 0{,}60\} = 0{,}66. \quad (25)$$

Також в якості параметра технічного стану може виступати статистичні дані параметрів, які не є винятком, тобто показники надійності. Так технічний стан блоку живлення електромагнітного перепускного клапана паливного насоса високого тиску кормозбирального комбайна окрім трьох параметрів (табл. 1) оцінюється ще четвертим «Середній наробіток до відмови» (рис. 8). Згідно нормативу на цей блок його середній наробіток до відмови не повинен бути менше 1000 годин, але згідно хронометражних досліджень, поточне значення даного параметра 950 годин.

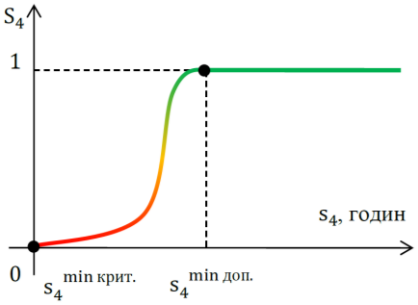


Рис. 8. Функція приналежності для параметра «Середній наробіток до відмови» s_4.

Fig. 8. The membership function for the parameter "Average operating time before failure" s_4.

В якості залежності $S_4(s_4)$ обрано нормальний розподіл Гаусса. Як і в попередніх прикладах функцій приналежності, залежність $S_4(s_4)$ може бути іншою, однак в даному випадку проведені експериментальні дослідження ($\sigma = 0{,}4$) дозволяють застосувати криву Гаусса. Отже, функція приналежності $S_4(s_4)$ буде мати такий вид:

$$S_4 = \begin{cases} 1 \text{ при } s_4 > s_4^{\min\text{ доп.}} \\ \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(s_4 - s_4^{\max\text{ доп.}}\right)^2}{2\sigma^2}} \text{ при } 0 \leq s_4 \leq s_4^{\min\text{ доп.}} \end{cases} \approx 0{,}46. \quad (26)$$

Таким чином, технічний стан блоку живлення електромагнітного перепускного клапана паливного насоса високого тиску кормозбирального комбайна можемо описати за допомогою множини індексів:

$$S = \{0{,}40;\ 1{,}00;\ 0{,}60;\ 0.46\} = 0{,}62. \quad (27)$$

Параметр «Середній наробіток до відмови» допоміг уточнити технічний стан блоку.

Становиться очевидним зручність застосовування запропонованих моделей, за якими оцінка технічного стану сільськогосподарської машини ведеться по певній скінченій множині параметрів, що встановлені в нормативній документації на цю машину заводом-виробником. Дана сільськогосподарська машина завжди виконує яку-небудь функцію. Ступінь виконання цієї функції оцінюють за вихідними даними, які мають різнотипний характер. Це можуть бути дані інструментальні, тобто ті, що можна виміряти за допомогою засобів вимірювання, статистичні, тобто ті, розрахунок яких проводять протягом певного часу, і частіше, мають математичний характер, та експертні, тобто ті, які відносяться до суб'єктивної думки. Для обробки і аналізу цих

різнорідних даних застосуємо нечітку модель надійності через структурно-параметричний метод аналізу ієрархій, тобто розглянути параметри технічного стану сільськогосподарської машини, як набір елементів.

Таким чином, щоб отримати оцінку технічного стану сільськогосподарської машини, яка складається із множини елементів, необхідно оцінити технічний стан кожного елемента, а системи окремо за параметрами, які встановлені для кожного елемента, потім визначити індекс технічного стану вищестоячих в ієрархії структур системи (рис. 9) застосувавши лінійну відстань Хеммінга та принцип відносності: система нижнього рівня є елементом системи більш високого рівня, даний метод транслюємо на довільний рівень в рамках структури системи:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{N} S_i}{N},\ S_i = \frac{\sum_{j=1}^{C_i} S_{ij}}{C_i},\ S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{B_{ij}} S_{ijk}}{B_{ij}}, \quad (28)$$

де N – кількість підсистем в системі; C_i – кількість елементів i-ї підсистеми в системі; B_{ij} – кількість параметрів j-их елементів i-ї підсистеми в системі; S_{ij} – індекс технічного стану сільськогосподарської машини j-их елементів i-ї підсистеми в системі; S_{ijk} – індекс технічного стану сільськогосподарської машини за k-им параметром j-их елементів i-ї підсистеми в системі.

Рис. 9. Структурно-параметрична схема системи оцінки індекса технічного стану сільськогосподарської машини.

Fig. 9. Structural and parametric scheme of the evaluation system of the index of technical condition of the agricultural machine.

Тобто (28), стан елемента системи є одним з параметрів оцінки цієї системи. Адекватність запропонованого підходу обґрунтована тим, що вагомість кожного параметра однаковий, а також ти фактом, що кількість даних параметрів і безпосередньо самі параметри, за якими необхідно оцінювати технічних стан, визначаються суб'єктом оцінки: заводом-виробником, інженером виробничого агропідприємства, випробувальною установою. Тобто, якщо даний параметр не важливий в рамках оцінки технічного стану сільськогосподарської машини, то нема необхідності його враховувати. Так як індекси технічного стану це, перш за все, індикатори для порівняння машин між собою, тоді апарат визначення в такому випадку не має принципового впливу, основна умова це застосування єдиного апарату для всього комплексу. На цій основі будуємо нечітку модель системи відновлення працездатності сільськогосподарської машини (рис. 10: s_{ijk} – значення технічного k-го параметра j-го елемента i-ї підсистеми в системі).

При цьому кожен з видів технічного стану характеризується сукупністю значень параметрів, які описують стан сільськогосподарської машини, і якісних ознак. Номенклатура цих параметрів і ознак, а також меж їх допустимих значень встановлюється в нормативній документації на дану сільськогосподарську машину.

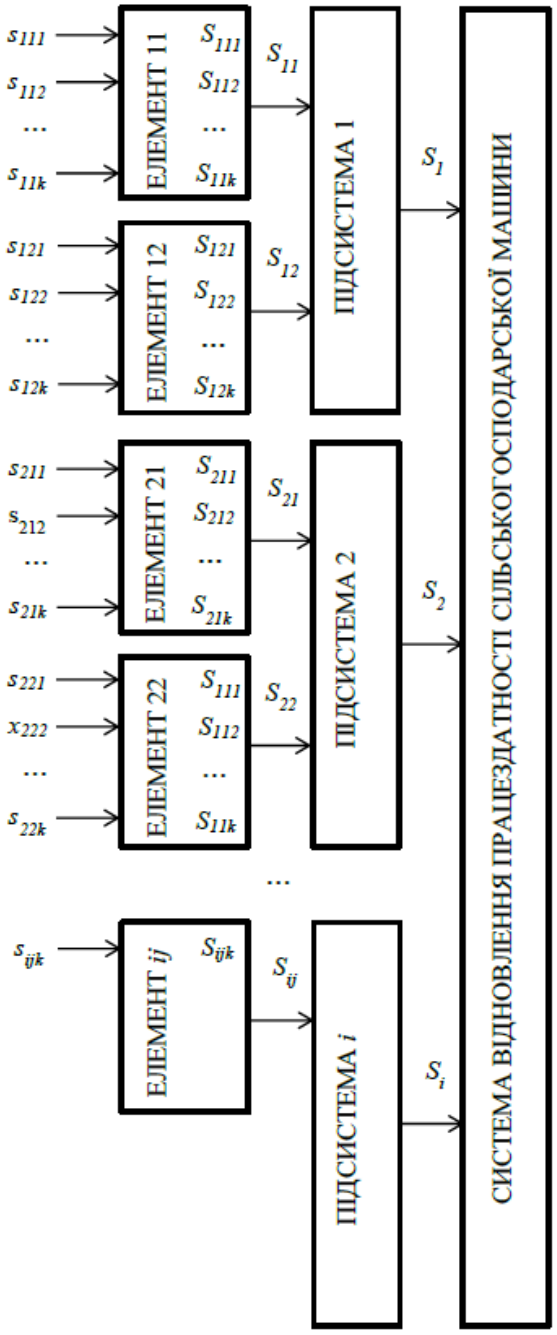


Рис. 10. Нечітка модель системи відновлення працездатності сільськогосподарської машини.

Fig. 10. Fuzzy model of the system of restoration of working capacity of the agricultural machine.

Очевидно (рис. 10), що ці параметри можуть бути як кількісні зі своїми одиницями виміру, так і якісними. Нечітка модель надійності дозволяє знищити розмірність цих ознак і уникнути дискретних видів технічного стану сільськогосподарської машини. Згідно нечіткої моделі надійності, щоб отримати оцінку технічного стану сільськогосподарської машини, яка складається з множини елементів, необхідно оцінити технічний стан кожного елемента в окремості за параметрами, що встановлені для кожного елемента, і лише потім визначати інтегральний індекс технічного стану вищестоящих в ієрархії структур системи відновлення працездатності сільськогосподарської машини. В даному випадку необхідно провести аналіз ступеня прояви властивості адитивності і цілісності в запропонованій системі (рис. 10).

Відомо, що без забезпечення достатньої цілісності в системі не можуть проявлятись системні властивості, необхідні для її зберігання і розвитку. Однак у випадку більшої цілісності система буде подавляти елементні властивості і може втрати частину з них. В то й же час при розгляді лише елементних властивостей, при адитивності цих властивості можуть виникати різні протиріччя, і ці властивості не будуть проявлятись в системі.

Закономірності емерджентності проявляються в системі у виді виникнення у неї нових властивостей відсутніх елементів:

- властивість системи не є простою сумою властивостей складових її елементів;
- властивості системи залежить від властивостей складових її елементів;
- об'єднанні в систему елементи, як правило, втрачають частину своїх властивостей, притаманних їх поза системи, тобто система подавляє ряд властивостей елементів, але елементи, потрапивши в систему, можуть набути нових властивостей.

Таким чином, зміни, що пов'язані з втратою елементами деяких властивостей, коли вони стають елементами системи, бувають настільки істотними, що можливо коли властивості системи взагалі не залежать від властивостей елементів.

Становиться очевидним, що властивість емерджентності пов'язано з ціллю, для виконання якої розробляється система. Тому так важливо з усієї безкінечної множини властивостей виділяти і розглядати тільки ті, що важливі для досягнення цілі в агровиробничих системах. Тому може існувати певна технічна система з трьох елементів (рис. 11). При цьому технічний стан «Елемента 1» оцінюється за двома параметрами s_{111} і s_{112}, технічний стан «Елемента 2» оцінюється за одним параметром s_{121}, технічний стан «Елемента 3» оцінюється за двома параметрами s_{131} і s_{132}:

$$S_{11} = \{s_{111}, s_{112}\}, \quad (29)$$

$$S_{12} = \{s_{121}\}, \quad (30)$$

$$S_{13} = \{s_{131}, s_{132}\}, \quad (31)$$

$$S_1 = \{S_{11}, S_{12}, S_{13}\}. \quad (32)$$

Вирази (29)-(32) як раз показують випадок абсолютної адитивності системи. Тепер припустимо, що на технічний стан системи впливають не тільки елементарні параметри, але і один системний. Так як параметр системний, то і його значимість вища, ніж у елементних параметрів, або цей системний параметр є таким же елементом системи (рис. 12).

Рис. 11. Технічна система з трьох елементів.
Fig. 11. Technical system of three elements.

Рис. 12. Технічна система з трьох елементів та системним параметром.
Fig. 12. Technical system with three elements and system parameter.

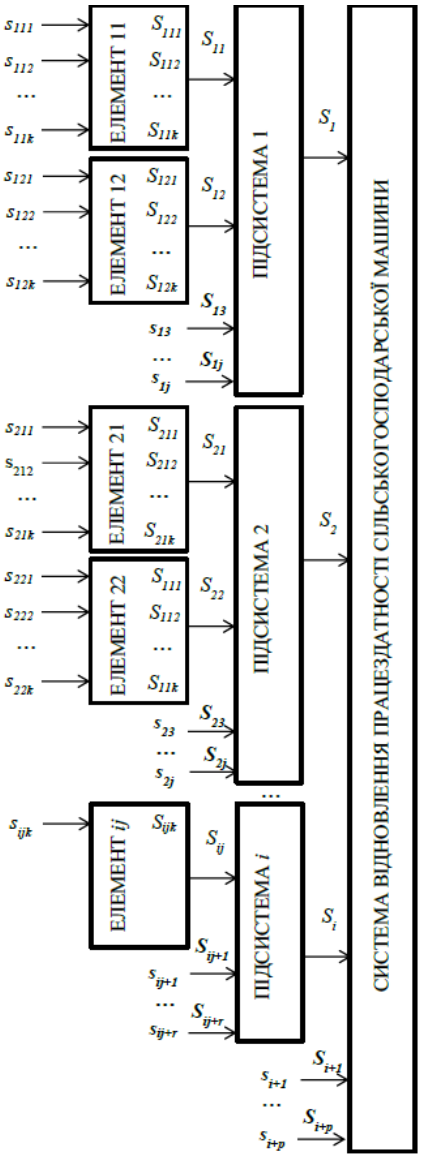


Рис. 13. Модифікована нечітка модель системи відновлення працездатності сільськогосподарської машини.
Fig. 13. Modified fuzzy model of the system of restoration of working capacity of the agricultural machine.

Тоді справедливим буде:

$$S_{11} = \{s_{111}, s_{112}\}, \quad (33)$$

$$S_{12} = \{s_{121}\}, \quad (34)$$

$$S_{13} = \{s_{131}, s_{132}\}, \quad (35)$$

$$S_1 = \{S_{11}, S_{12}, S_{13}, S_{14}\}. \quad (36)$$

Самі по собі «Елемент 1», «Елемент 2», «Елемент 3» є параметрами для «Системи 1» поряд з «Параметром 14». Результат легко узагальнюється для довільної ієрархічної структурованої моделі. В концептуальній моделі необхідно врахувати можливість добавлення системних параметрів на довільних рівнях. Саме це, в кінцевому ітозі, дозволяє забезпечити баланс між адитивністю і емерджентністю (рис. 13).

На рис. 13 видно, що для оцінки технічного стану підсистеми 1 необхідно оцінити технічний стан складових її елементів, а також оцінити підсистему за множиною системних параметрів $\{s_{13}, \dots , s_{1j}\}$.

Вищесказане справедливо і для підсистеми 2: для оцінки технічного стану підсистеми 2 необхідно оцінити технічний стан складових її елементів, а також оцінити підсистему за множиною системних параметрів $\{s_{23}, \dots , s_{2j}\}$.

В ієрархії коден системний параметр знаходиться на одному рівні з елементами даної підсистеми.

Узагальнив, можемо відмітити, що множина $\{s_{ij+1}, \dots , s_{ij+r}\}$ – це множина системних параметрів, на основі яких оцінюють технічний стан підсистеми, множина $\{s_{i+1}, \dots , s_{i+p}\}$ – це множина системних параметрів, на основі яких оцінюють технічний стан системи.

В ієрархії кожен системний параметр $\{s_{i+1}, \dots , s_{i+p}\}$ знаходиться на одному рівні з підсистемою даної системи.

Висновки

1. Формалізовано фізичне поняття технічного стану сільськогосподарської машини в математичних поняттях теорії нечіткої множини за допомогою індексу технічного стану і може знаходитись в довільному технічному стані в множині від 0 до 1 (справний стан).

2. Нечітка модель надійності сільськогосподарської машини, як складної технічної системи, дозволяє здійснити структурно-параметричний аналіз і систем системи та ідентифікувати її технічний стан.

3. Запропонована модель оцінки технічного стару сільськогосподарської машини – нечітка модель надійності – дозволяє вирішити проблему непорівнянності машин між собою.

4. Навіть при умові різної кількості параметрів, за якими відбувається оцінка технічного стану сільськогосподарської машини, з допомогою системи індексів наявна можливість порівняння (ранжування) сільськогосподарських машин по узагальнюючому признаку – технічному стані.

Список літератури

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, pp. 1166-1172.

2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 2017, pp. 158-163.

3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 2018, pp. 79-84.

4. *Masek J., Novak P., Jasinskas A.* Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 1180-1185.

5. *Rogovskii I., Grubrin O.* Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 2018, pp. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. *Viba J., Lavendelis E.* Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, pp. 95-98.

7. *Luo A.C.J., Guo Y.* Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.

8. *Astashev V., Krupenin V.* Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, pp. 108-113.

9. *Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 2018, pp. 64-74.

10. *Drga R., Janacova D., Charvatova H.* Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. *Novotny J.* Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2016, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, pp. 16-20.

12. *Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P.* Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 2016, pp. 407-441.

13. *Rogovskii I. L.* Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 181-187.

14. *Rogovskii I. L.* Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 4, P. 145-150.

15. *Роговський І. Л.* Алгоритмічність визначення періодичності відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 1, P. 155-162.

References

1. *Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B.* (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17, 1166-1172.

2. *Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F.* (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, vol. 19, 158-163.

3. *Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I.* (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, vol. 16, 79-84.

4. *Masek J., Novak P., Jasinskas A.* (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 1180-1185.

5. *Rogovskii I., Grubrin O.* (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. vol. 298, 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. *Viba J., Lavendelis E.* (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia, 95-98.

7. *Luo A.C.J., Guo Y.* (2013). Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag. 213.

8. *Astashev V., Krupenin V.* (2017). Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16, 108-113.

9. *Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I.* (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 64-74.

10. *Drga R., Janacova D., Charvatova H.* (2016). Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, vol. 76, UNSP 04036.

11. *Novotny J.* (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15, 16-20.

12. *Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P.* (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, vol. 266 (3), 407-441.

13. *Rogovskii I. L.* (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No 3, 181-187.

14. *Rogovskii I. L.* (2019). Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 10, No 4, 145-150.

15. *Rogovskii I. L.* (2020). Algorithmicly determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. Vol. 11, No 1, 155-162.

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПРИ ПОТЕРИ ЕЕ РАБОСПОСОБНОСТИ

И. Л. Роговский

Аннотация. В статье проведен анализ поддержание существующих сельскохозяйственных машин в работоспособном состоянии, за которым следует отработать систему технического обслуживания с учетом условий реформирования аграрного сектора. Под техническим обслуживанием понимается комплекс работ по поддержанию работоспособности или исправности изделий при использовании по назначению путем регулировочных, знающих, заправочных и крепежных работ. Для оценки альтернативных вариантов целесообразно проводить морфологический анализ всей совокупности возможных решений исследуемой проблемы, представленных в виде морфологической матрицы, в которой представлены основные функции машины и варианты предметных форм их выполнения.

Теоретическими исследованиями предоставили ответ на два главных вопроса – как должна меняться система технического обслуживания в зависимости от уровня развития аграрного производства, а также –

какие параметры должна иметь система обслуживающего сервиса, чтобы выполнять соответствующие вмешательства с минимальными технологически необходимыми затратами ресурсов и капиталовложениями. Оценку уровня технического обслуживания сельскохозяйственных машин предусмотрено выполнять по совокупности организационно-технических факторов, формализованных через части и комплексные показатели, в два этапа. Первый – оценка через части показатели по каждому фактору отдельно. Второй – оценка комплексного показателя (по всем факторам в целом).

Ключевые слова: методология, коэффициент готовности, эффективность, сельскохозяйственная машина.

GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF INDEX OF TECHNICAL CONDITION OF AGRICULTURAL MACHINE IN EVENT OF LOSS OF ITS WORKINGNESS

I. L. Rogovskii

Abstract. In the article the analysis of existing agricultural machines in a healthy state, followed by work on the maintenance system subject to the conditions of reforming of the agrarian sector. Under maintenance refers to the complex of works on maintenance of working capacity or serviceability of the products during use by adjusting, knowledgeable, filling and retaining work. For the assessment of the alternatives it is advisable to conduct morphological analysis of the entire set of possible solutions to the research problem presented in a morphological matrix, which presents the basic functions of the machine and options the subject of the forms of their implementation.

Theoretical research has provided the answer to two fundamental questions – how to change maintenance system depending on the level of development of agricultural production, and what parameters must have the system maintenance service to perform the appropriate intervention with the minimum technologically necessary costs of resources and investment. Assessment of the level of maintenance of agricultural machinery is provided to carry on the totality of organizational and technical factors, formalized through parts and complex indicators, in two phases. The first evaluation of using of the indicators for each factor separately. Second – assessment of a complex indicator (for all factors).

Key words: methodology, availability, efficiency, agricultural machine.

І. Л. Роговський ORCID 0000-0002-6957-1616.

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 197-198*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

Зміст

1. Комплексна оптимізація режиму зміни вильоту стрілової системи крана-маніпулятора
В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, О. О. Сподоба, А. В. Ловейкін, С. А. Шворов 5-13

2. Моделювання фазових перетворень в конструкційних сталях
Є. Г. Афтанділянц 15-20

3. Ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах
В. М. Поліщук, С. А. Шворов, Д. А. Дерев'янко, Т. С. Давиденко 21-27

4. Математичні моделі прогнозування вагового і лінійного зношень від ресурсних показників серійних і зміцнених комбінованим методом культиваторних лап
М. О. Василенко, Д. О. Буслаєв 29-33

5. Вплив ступеня закріплення абразивної частинки на механізм зношування робочих органів ґрунтообробних машин
К. В. Борак 35-40

6. Дослідження віброакустичного методу контролю технічного стану дизельного двигуна зернозбиральних комбайнів для виявлення появи дефектів
Д. І. Мартинюк 41-48

7. Розрахунок гравітаційного спуску, утвореного поверхнею косого закритого гелікоїда
Т. А. Кресан 49-57

8. Модель оцінки рівня допустимості ризиків процесу транспортування швидкопсувної агарної продукції
О. М. Загурський 59-66

9. Рекомендації з підвищення безпеки дорожнього руху у сільських населених пунктах
І. О. Колосок, М. М. Зеленський 67-72

10. Спосіб формування 2-3 причепних автопоїздів для перевезення сільськогосподарської продукції військовими підрозділами
О. М. Загурський, А. П. Андрієвський, Б. С. Марченко 73-79

11. Нормативне регулювання працевлаштування студентів, що навчаються на заочному відділенні
Л. Е. Піскунова, Т. О. Зубок, М. О. Шкапа 81-86

12. Техніко-технологічне обґрунтування переробки рицини на малотоннажному підприємстві
В. В. Дідур, А. Б. Чебанов, С. М. Грушецький, Є. А. Петриченко 87-94

13. Аналіз стійкості руху боронувальної секції
В. Т. Надикто, М. А. Тиховод 95-105

14. Обґрунтування розміщення культур у структурі полів та обсягів виробництва для механізованих технологічних операцій
В. М. Зубко 107-113

15. Надійність сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів з досвіду зарубіжних компаній
А. В. Новицький, О. О. Банний 115-124

16. Дослідження застосування рідкої і твердої фракцій ферментованих (компостованих) органічних добрив для покращення родючості ґрунтів і технологічного обладнання
О. М. Леженкін, Б. В. Болтянський 125-129

17. Високопродуктивні агрегати для обробітку ґрунту перед сівбою цукрових буряків та інших технічних культур
Д. А. Дерев'янко 131-136

18. Сучасні технології та технічні засоби годівлі великої рогатої худоби
В. В. Радчук, С. Є. Потапова 137-143

19. Сепарація насіння ріпаку
О. О. Богомолов 145-150

20. Критерії оцінки ефективності використання машин в агропромисловому комплексі
Л. Л. Тітова 151-156

21. Моделювання процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії
М. В. Брагінець, В. Т. Дмитрів, В. С. Хмельовський, О. В. Богомолов, О. О. Богомолов 157-164

22. Обґрунтування геометричних параметрів магнітної системи вітроелектричного вентильного реактивного генератора з кільцевим ротором
В. В. Козирський, О. Д. Подольцев, М. І. Трегуб 165-170

23. Визначення місць розташування джерел розподіленої генерації та величин їх потужності в радіальних електричних мережах напругою 35 кВ
Д. П. Кожан 171-177

24. Амінокислотний склад молочних продуктів ферментованих мікроорганізмами різних таксономічних груп
Л. В. Баль-Прилипко, С. Г. Даниленко, О. І. Потемська, О. В. Науменко, Т. А. Крижська 179-186

25. Узагальнена математична модель індексу технічного стану сільськогосподарської машини при втраті її працездатності
І. Л. Роговський 187-196

Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 199-200*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

Contents

1. Comprehensive optimization of mode of departure of boom system of loader crane
V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevich, O. O. Spodoba, A. V. Loveikin, S. A. Shvorov..... 5-13

2. Modelling of phase transformations in structural steels
Ye. G. Aftandiliants..... 15-20

3. Efficiency of producing biogas in agricultural enterprises
V. M. Polishchuk, S. A. Shvorov, D. A. Derevianko, T. S. Davydenko..... 21-27

4. Mathematical models for predicting weight and linear wear from resource indicators serial and hardened by combined method of cultivator paws
M. O. Vasylenko, D. O. Buslaiev 29-33

5. Influence of degree of abrasive particle clinging to wear mechanism of soil-cultivating machines operational mechanisms
K. V. Borak 45-40

6. Research of vibroacoustic method of technical condition control of diesel engine of combine harvesters for detection of defects appearance
D. I. Martyniuk..... 41-48

7. Calculation of the gravitation descent formed by the surface of the skew closed helicoid
T. A. Kresan 49-57

8. Assessment model of risk tolerability level of perishable agricultural products transportation
O. M. Zagurskiy 59-66

9. Guidelines for improving road safety in rural settlements
I. O. Kolosok, M. M. Zelenski 67-72

10. Method of formation of 2-3 trailed road trains for transport of agricultural products by military departments
O. M. Zagurskiy, A. P. Andriyevsky, B. S. Marchenko..... 73-79

11. Normative regulation of employment of distantly learning students
L. E. Piskunova, T. O. Zubok, M. O. Shkapa 81-86

12. Technical and technological viability of processing castor beans for small-scale enterprise
V. V. Didur, A. B. Chebanov, S. M. Hrushetskyi, Y. A. Petrychenko 87-94

13. Harrow section movement sustainability analysis
V. T. Nadykto, M. A. Tikhovod..... 95-105

14. Justification of placing cultures in structure of fields and volumes of production for mechanized technological operations
V. N. Zubko 107-113

15. Reliability of agricultural machinery in system of innovation processes from experience of foreign companies
A. V. Novytskyi, O. O. Bannyi..... 115-124

16. Research of application of liquid and solid fractions of fermented (composted) organic fertilizers for improvement of fertility of soil and technological equipment
A. N. Lezhenkin, B. V. Boltianskyi 125-129

17. Highly productive units for treatment of soil before sowing of sugar beets and other technical crops
D. A. Derevianko 131-136

18. Modern technologies and technical means for feeding cattle
V. V. Radchuk, S. Ye. Potapova 137-143

19. Rapeseed separation
O. O. Bogomolov 145-150

20. Criteria for evaluation of efficiency of using machines in agricultural complex
L. L. Titova 151-156

21. Modeling of process of separation of rappine seeds by shock separator
M. V. Braginets, V. T. Dmutriv, V. S. Khmelovskyi, O. V. Bogomolov, O. O. Bogomolov 157-164

22. Substantiation of magnetic system of switched reluctance generator with annular rotor for wind turbine
V. V. Kozirsky, O. D. Podoltsev, M. I. Tregub 165-170

23. Determination of location sources of distributed generation and magnitudes of their power in radial electric networks with voltage of 35 kV
D. P. Kozhan 171-177

24. Amino acid composition of dairy products fermented by microorganisms of different taxonomic groups
L. V. Bal-Prylypko, S. G. Danylenko, O. I. Potemskaia, O. V. Naumenko, T. A. Kryzhska 179-186

25. Generalized mathematical model of index of technical condition of agricultural machine in event of loss of its workingness
I. L. Rogovskii 187-196

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), (%, m^3m^{-3} or (%, gg^{-1}), Thermal conductivity ($W\ m^{-1}K^{-1}$).

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-phabetically 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

№ 2

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 30.04.2020 Підписано до друку 30.04.2020
Формат 60×84/16 Папір офсетний.
Наклад 100 прим. Зам. № 0814 від 30.04.2020

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